Untersuchungen über das Reflexionsvermögen einiger Erzmineralien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Versuchsbedingungen für seine Bestimmung

ROBERTO ARAYA A.

1968

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545804_0089

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK · 8 München 13 · Telefon 597 397 [52 46 07]

UNTERSUCHUNGEN UBER DAS REFLEXIONSVERMÖGEN EINIGER ERZMINERALIEN UNTER BERUCKSICHTIGUNG UNTERSCHIEDLICHER VERSUCHSBEDINGUNGEN FÜR SEINE BESTIMMUNG

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt
von
Roberto Araya A.
aus
Santiago de Chile

München 1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes.

1. Berichterstatter: Prof.Dr.-Ing.A.Maucher
2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Fischer
Tag der mündlichen Prüfung: 24.7.1968

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

Vorwort 3

I. Einleitung
1. Allgemeines über das Reflexionsvermögen 4
2. Historischer Überblick 5
3. Ziel der Arbeit und Untersuchungsmaterial 8

II. Über die Instrumente
1. Allgemeines Grundprinzip 11
2. Anwendungsbereich 11
3. Gesamtausrüstung des LEITZ-Gerätes 11
4. Gesamtausrüstung des ZEISS-Gerätes 12
5. Zur Auswahl geeigneter Reflexionsstandards 14

III. Zur Messung des Reflexionsvermögens mit dem LEITZ-Mikroskop-Photometer MPV, Typ MFLK, BN 5oo1 T
1. Meßvorgang 16
2. Objektivszentrierung 17
3. Zur richtigen Beleuchtung des Objektteils 17
4. Standardskontrolle 18
5. Minimale Größe des zu messenden Objektteils 2o
6. Über den Einfluß von Nachbarkörnern auf das Reflexionsvermögen eines Minerals 21

IV. Über die Werte und Fehler bei Reflexionsvermögensmessungen der untersuchten Mineralien
1. Allgemeines über die Werte und Fehler bei Reflexionsvermögensmessungen isotroper Mineralien 24
2. Vergleichsmessungen des Reflexionsvermögens unter Verwendung des LEITZ- und ZEISS-Mikroskop-Photometers 25
3. Reflexionsvermögen der untersuchten isotropen Mineralien 31
4. Allgemeines über die Reflexionsvermögensmessungen anisotroper Mineralien 4o
5. Reflexionsvermögen der untersuchten anisotropen Mineralien 4o

V. Kontrolle der Abhängigkeit des Reflexionsvermögens isotroper Mineralien von der Schnittlage 51

VI. Über den Einfluß der Innenreflexe von Zinkblende auf ihr Reflexionsvermögen 53

VII. Sondermessungen zur Ermittlung eines etwaigen Einflusses verschiedener Poliermethoden auf das Reflexionsvermögen . 57
Anhang zu Kapitel VII. 65

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse 7o

Literaturverzeichnis 73

Lebenslauf 76

V O R W O R T

Die vorliegende Arbeit ist als Beitrag zur Kenntnis des Reflexionsvermögens von Erzmineralien, auf Anregung meines verehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Maucher, entstanden. Für sein stetes Interesse am Fortgang der Untersuchungen, seine wertvollen Anregungen und kritischen Hinweise möchte ich herzlich danken.

Herrn Prof. Dr. G. Angenheister danke ich für die gewährte Unterstützung und das Verständnis für diese Arbeit.

Herrn Dr. I. Fruth danke ich recht herzlich für seine wertvollen Ratschläge und sein hilfsbereites Entgegenkommen bei der Lösung verschiedener Fragen.

Herrn Priv.Doz. Dr. D.D. Klemm, der Untersuchungen mit der Elektronenmikrosonde durchführte, und Herrn Dr. J. Bodechtel, der mir das Untersuchungsmaterial zur Verfügung stellte und beim Fotographieren von Anschliffen half, danke ich recht herzlich.

Fräulein E. Weyrich war mir stets eine wertvolle Hilfe bei der Vorbereitung der Anschliffe. Fräulein E. Schmidt führte Spektralanalysen durch und hat mir ebenfalls bei der photographischen Arbeit geholfen. Herr M. Meyer war mir in verschiedenen praktischen Dingen behilflich. Den Genannten danke ich herzlich für ihre Unterstützung.

Aufrichtigen Dank schulde ich den Firmen Leitz und Zeiss, die je ein Mikroskop-Photometer Herrn Professor Maucher als Leihgabe zur Verfügung stellten und somit diese Arbeit ermöglichten und dem Deutschen Akademischen Austauschdienst, von dem ich das Stipendium für die Studien in Deutschland bekam.

Sämtliche Messungen und Laborarbeiten sind am Institut für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie durchgeführt worden. Mit den ersten Reflexionsvermögen-Messungen habe ich im Mai 1966 begonnen.

1. EINLEITUNG

1. Allgemeines über das Reflexionsvermögen

Die Messung des Reflexionsvermögens zusammen mit Härtebestimmungen und mit der Analyse der Schwingungszustände des reflektierten Lichtes stellen die wichtigsten quantitativen Bestimmungen von Objekteigenschaften in der Erzmikroskopie dar. Damit liefern sie die gerade für dieses Gebiet, auf dem bis heute mit gutem Erfolg gearbeitet wird, notwendigen, diagnostischen Kennzeichen zur Identifizierung der untersuchten Mineralien.

Bevor die Definition des Reflexionsvermögens und dessen quantitative Bestimmung behandelt werden, sei erwähnt, daß die Abschätzung dieser Eigenschaft für ein bestimmtes Mineralkorn stark abhängig vom Reflexionsvermögen der Nachbarkörner ist. Wegen dieses subjektiven Eindruckes des Reflexionsvermögens ist es möglich, daß ein bestimmtes Erzkorn in einem Kornaggregat, in dem verschieden reflektierende Mineralien auftreten, mehr oder weniger reflektierend erscheint als es wirklich ist. (EHRENBERG, 1960, S.152).

Das Reflexionsvermögen (R) einer Fläche wird als das Verhältnis der Intensität des reflektierten Lichtes (Ir) zur Intensität (Ie) des gesamten senkrecht auffallenden Lichtes definiert und es wird in Prozent ausgedrückt.

Bei einem isotropen absorbierenden Körper ist R:

$$R = \frac{(n-N)^2 + K^2}{(n+N)^2 + K^2}$$

wobei K = Absorptionskoeffizient

ferner ist $K = \mathfrak{K} \cdot n$.

wobei $\mathfrak{K}$ = Absorptionsindex

Bei einer anisotropen Schnittlage eines Minerals gibt es zwei um 90° auseinanderliegende Schwingungsrichtungen mit ihren entsprechenden Werten von n und K. Ist - bei gekreuzten Nicols - das einfallende Licht linear polarisiert, dann hat man bei einer Tischumdrehung von 360° viermal eine Änderung der Intensität zwischen zwei Extremwerten. Bei den Auslöschungslagen werden diese Schwingungsrichtungen des Minerals - Normallagen - mit der Schwingungsrichtung des einfallenden Lichtes parallel. Die Intensitäten in diesen Lagen bestimmen die beiden sogenannten Uniradialen Reflexionsvermögen R_1 und R_2.

Die Differenz ($R_1 - R_2$) zwischen diesen extremen Reflexionsvermögen eines einzigen Kornanschnittes im polarisierten Auflicht wird als Bireflexion bezeichnet.

Die Bireflexion ändert sich mit der kristallographischen Orientierung, sodaß in einem Anschliff, in dem ein körniges Aggregat vorliegt, die einzelnen Körner verschieden starke Effekte aufweisen. Einachsige Mineralien zeigen z.B. in einer Fläche senkrecht zur C-Achse keine Bireflexion. Für jedes anisotrope Mineral gibt es zumindest eine kristallographische Ebene, parallel zu der die Bireflexion Null ist, und eine oder mehr kristallographische Ebenen, parallel zu denen die Bireflexion ihr Maximum erreicht (CAMERON, 1961, S.91).

Alle heute verwendeten Methoden zur Bestimmung des Reflexionsvermögens mit dem Mikroskop beruhen auf relativen Messungen, und zwar auf dem Vergleich zwischen den reflektierten Lichtanteilen des betreffenden Präparates und des Reflexionsvermögensstandards.
Das Reflexionsvermögen kann entweder visuell oder photoelektrisch gemessen werden.
Die Genauigkeit der im monochromatischen Licht visuellen Intensitätsvergleiche, welche auf der Abschätzung der Intensitätsgleichheit zwischen zwei Lichtanteilen beruht, ist sehr begrenzt. Sie hängt von der persönlichen Beobachtungsgabe des Betrachters ab. Weil die Meßgenauigkeit nach einer gewissen Anzahl von Reihenmessungen stark reduziert wird, ist die visuelle Methode zur Durchführung mehrerer Reihenmessungen nicht geeignet (CAPDECOMME & ORCEL 1941, S.9o-91). Es gibt deswegen die Tendenz, diese subjektive Photometrie durch eine Methode zu ersetzen, bei der das Reflexionsvermögen objektiv bestimmt werden kann. An Stelle der subjektiven Methode mit einem Photometerokular werden heute Einstrahl-Photometer mit einer selbständig registrierenden Photozelle oder Photomultiplier benützt (v. GEHLEN & PILLER, 1964, S.95; v. GEHLEN, 196o, S.373).

2. Historischer Überblick

Rückblickend auf das Ende des 19. und den Anfang des 2o.Jahrhunderts können für die Entwicklung der Reflexionsvermögens-Untersuchungen folgende Namen genannt werden: A.v.Inostranzeff, P.Drude, W.Voigt, W.Wernicke, F. Neumann, F.Pockels, J.Königsberger, K.Endell, H.Hanemann, F.E.Wright und M.Berek. Mit ihren Untersuchungen trugen sie grundlegend zum Studium des Reflexionsvermögens und aller Fundamentalerscheinungen, welche an absorbierenden Kristallen im reflektierten Licht zu beobachten sind, bei.Seit den ersten Arbeiten sind die mikroskopischen Meßmethoden im senkrecht einfallenden, polarisierten Licht immer weiter entwickelt worden, und zwar durch die Konstruktion neuer Apparaturen, die sowohl ein einfacheres Meßverfahren, als auch eine objektivere und verläßlichere Bestimmung des Reflexionsvermögens zulassen.

Im folgenden wird ein schematischer und chronologischer Überblick der Reflexionsvermögens-Untersuchungen aufgezeichnet:

1922: M.BEREK versucht zum erstenmal die optischen Grundlagen der erzmikroskopischen Praxis zusammenzufassen. Gleichzeitig wird von SCHNEIDERHÖHN die erste systematische Zusammenstellung aller qualitativen optischen Beobachtungen gegeben und darauf hingewiesen "daß sich auf Grund dieser Beobachtungen eine quantitative Erzmikroskopie entwickeln müsse" (SCHNEIDERHÖHN, 1952, S.99).

1924: Erst seit diesem Jahr, und zwar unter dem Einfluß der Weiterentwicklung der Photometrie, wird das Interesse für eine nummerische Bestimmung des Reflexionsvermögens in zahlreichen Veröffentlichungen betont (GLASSER, 1924; GRABER, 1925 und SCHLOSSMACHER 1924).

1927: In Frankreich wird von J.ORCEL die photoelektrische Methode zum erstenmal verwendet. Es handelt sich um das erste Photometer mit einer gasgefüllten Alkaliphotozelle, zur Durchführung dieser Messungen. Besonders ungünstig bei Verwendung dieser von der Societé de Construction d'Appareils de Laboratoires (SCAD) gebauten Photozelle ist ihre spektrale Empfindlichkeit, die ein sehr steiles Maximum im Blau hat, mit einer starken Zunahme der Empfindlichkeit sowohl im Violett als auch im Gelb und Rot. Die Reflexion wurde also nur für Blau gemessen. Die Genauigkeit der Messungen für beide Extreme des sichtbaren Spektrums nimmt stark zu und bräuchte für solche Messungen eine besonders starke Lichtquelle (ORCEL, 1930, S.330) und SCHNEIDERHÖHN, 1922, S.127). Ab 1927 hat Orcel wertvolle Beiträge zur quantitativ-optischen Erzmikroskopie geliefert.

1928: H.SCHNEIDERHÖHN macht mit einem Versuchsmodell eines von Berek im Jahr 1922 entworfenen Mikroskopphotometers orientierende Messungen, welche befriedigend ausfielen. Dieses Spalt-Mikrophotometer, das auf dem Prinzip beruht, daß zwei beleuchtete Fehler visuell verglichen werden, wurde erst im Jahr 1930 zur Verfügung gestellt.

1930: A.FRICK beschreibt bei Verwendung dieses Spalt-Mikrophotometers eine quantitative Erfassung der Reflexion des Lichtes an Erz- und Metallanschliffen. Es wurde von ihm das Reflexionsvermögen von 150 Erzmineralien und Metallen in Luft und Zedernholzöl gemessen.

1931: A.CISSARZ studiert die optischen Eigenschaften von Antimonglanz unter Verwendung der Berek'schen Methode. Er führte Messungen durch und gab die erhaltenen mineralogischen Daten bekannt.

1931: J.KÖNIGSBERGER Neue theoretische Folgerungen, die für optisch einachsige und rhombische Kristalle in senkrecht auffallendem Licht gelten, werden von ihm abgeleitet.

1931: M.N.SHORT hat in Amerika die Photozellen seit 1931 verwendet.

1931: B.LANGE und W.EITEL verweisen auf ein photoelektrisches Photometer, wobei eine Sperrschichtphotozelle verwendet wird. Durch diesen, von ihnen vorgeschlagenen Weg zur Untersuchung mineralogisch mikroskopischer Präparate wurde ermöglicht, in einem größeren Spektralbereich zu arbeiten, was vorher mit gewöhnlichen Alkalizellen nur beschränkt durchführbar war.

1931: Diese Art von Photozelle wird seit dem Jahr 1932 von H.EHRENBERG benutzt.

1936: J.H.MOSES führt in den Vereinigten Staaten von Amerika ausführliche Untersuchungen des Reflexionsvermögens von Mineralien durch.

1936: D.MALMQVIST Wie bei der Berek'schen Methode benützt er eine photometrische Vergleichsvorrichtung, aber zur Schätzung der Intensitätsgleichheit zwischen den zwei Lichtanteilen wird das Auge des Beobachters durch zwei Sperrschichtphotozellen ersetzt.

1949: R.E.FOLINSBEE Durch Verwendung eines ins Mikroskop einzubauenden photographischen Belichtungsmessers liefert er einen Beitrag zur Vereinfachung der Reflexionsvermögensmessungen.

1950: A.DAHME und M.Th.MACKOWSKY entwickelten für die viel genaueren Messungen, die in der Kohlenpetrographie nötig sind, eine wesentlich empfindlichere Vorrichtung.

1957: A.F.HALLIMOND erfand ein vereinfachtes und vollkommeneres visuelles Mikrophotometer. Wie beim Spalt-Mikrophotometer von Berek beruht dieses Gerät auf dem Prinzip des Visuellen Vergleichs von zwei beleuchteten Feldern.

In den letzten Jahren haben S.H.U.Bowie; K.Taylor, N.F.M.Henry, H.Piller und K.v.Gehlen u.a. mit zahlreichen und wertvollen Arbeiten zu quantitativen Bestimmungen des Reflexionsvermögens beigetragen.

Durch die ständige Tätigkeit der IMA - Commission on Ore Microscopy (COM)- kommt es auch von der Seite der Mikroskophersteller zu immer vollkommeneren Geräten und technischen Raffinements, so daß der Einfluß der systematischen Fehlerquellen so weit wie möglich reduziert werden konnte.

Einige Beispiele, die die gegenwärtige Tätigkeit dieser Kommission deutlich zeigen, seien im folgenden erwähnt:

Die Erprobung geeigneter Reflexionsstandards.

Die Qualitätskontrolle der polierten Schliff-Flächen mit Hilfe von Auflicht-Interferenzverfahren

Die Herausgabe von Bestimmungstabellen mit Reflexionswerten für verschiedene Wellenlängen und Angabe der Vickers Härtezahl (V.H.N.)

Abhaltung spezieller Kurse über quantitative Methoden im Auflicht.

Anläßlich der IMA-Tagung in Prag 1968 wird ein Symposium über quantitative Erzmikroskopie veranstaltet.

3. Ziel der Arbeit und Untersuchungsmaterial

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zum Studium des Reflexionsvermögens von Erzmineralien zu liefern.

Folgende Aspekte wurden untersucht:

Fehler, verursacht durch Instrumente und Proben,

Einfluß der Poliermethode auf das Reflexionsvermögen der Mineralien,

Einfluß des Gehaltes an fremden Elementen auf das Reflexionsvermögen isotroper Mineralien,

Einfluß der Innenreflexe von Zinkblende auf ihr Reflexionsvermögen.

Es werden Tabellen von Reflexionsvermögenswerten der untersuchten Mineralien bei verschiedener Wellenlänge erstellt.

Die untersuchten Mineralien sind: Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Magnetkies, Dyskrasit. Ihre Reflexionsvermögen wurden für die Wellenlängen 437, 486, 546, 589 und 656 nm gemessen. Warum wurde gerade diese Mineralauswahl getroffen?

Bei Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende handelt es sich um drei besonders häufige isotrope, undurchsichtige Erzmineralien, die sowohl ganz verschiedenes Reflexionsvermögen als auch Schleifhärte aufweisen. Auf der anderen Seite weisen die drei anisotropen undurchsichtigen Erzmineralien, Kupferkies, Magnetkies und Dyskrasit ganz verschiedene Anisotropie, Schleifhärte und Reflexionsvermögen auf.

Die Erzproben stammen aus folgenden Fundorten: Rio Marina/Insel Elba, Monte di Campiglia/Toscana, Grube Bleischarley/Beuthen/Oberschlesien, St. Andreasberg/Harz, Herdorf/Siegerland, Kupferberg/Schlesien, Hagendorf/Oberpfalz, Tsumeb/Otavi-Bergland/SW-Afrika, Grube Bayerland/Waldsassen/Oberpfalz, Kropfmühl/Bayer. Wald, Mina de Luzal/Portugal, Outokumpu/Finnland, Grube Terlan/Meran/Südtirol, Picos de Europa/Santander/Spanien.

Anschliff-bezeichnung	Fundort	Mineralinhalt
o5o7	Monti di Campiglia	Magnetkies, Pyrit, Kupferkies, Zinkblende
o5o8	"	"
o5o9	"	"
o51o	Kupferberg	Kupferkies, Pyrit, Zinkblende
o511	"	"
o512	"	"
o513	Rio Marina	Pyrit
o514	"	"
o515	"	"
o518	Gr.Bleischarley	Bleiglanz
o519	"	"
o52o	"	"
o521	Rio Marina	Zinkblende
o522	"	"
o523	"	"
o524	Monti di Campiglia	Magnetkies, Pyrit, Kupferkies, Zinkblende
o525	"	"
o526	Rio Marina	Pyrit
o527	"	"
o528	"	"
o529	Schlesien	Kupferkies, Pyrit, Zinkblende
o53o	"	"
o531	Gr.Bleischarley	Bleiglanz
o532	"	"
o336	Herdorf	Kupferkies
o337	"	"
o61o	Gr.Bleischarley	Bleiglanz, Zinkblende, Markasit
o611	Hagendorf	Zinkblende
o639	St.Andreasberg	Dyskrasit, Arsen, Antimon
PR-2H	Tsumeb	Bleiglanz,Zinkblende,Pyrit,Fahlerz,Enargit
PR-3M	Gr.Bayerland	Zinkblende, Pyrit, Arsenkies, Magnetit, Kupferkies, Magnetkies
PR-14G	Kropfmühl	Graphit, Magnetkies, Titanit
PR-15E	St.Andreasberg	ged.Arsen, ged.Antimon, Allemontit, Dyskrasit, Safflorit, Bleiglanz, Zinkblende
PR-15L	"	"
PR-25E	Mina de Louzal	Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Bournonit

PR-27 A	Outokumpu	Magnetkies, Kupferkies, Zinkblende, Valleriit, Cubanit, Pentlandit, Pyrit
PR-28A	Gr. Terlan	Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Arsen-Fallerz
o252	Picos de Europa	Zinkblende
o253	"	"

Die Anschliffserien von o5o7 bis o532 plus o336, o337, o61o, o611 und o639 sind Sonderpräparate für die vorliegende Arbeit. Die Anschliffe (PR - 2H) bis (PR- 28A) plus (o252) und (o253) gehören zur Anschliffsammlung des Instituts für allgemeine und angewandte Geologie und Mineralogie der Universität München. Alle Anschliffe, die nicht speziell für diese Arbeit angefertigt worden sind, wurden nochmals vollkommen frisch geschliffen und poliert.

II. ÜBER DIE INSTRUMENTE

Zur Durchführung der Arbeit sind zwei verschiedene Instrumente verwendet worden:

LEITZ-Mikroskop-Photometer MPV, Typ MPLK, BN 5oo1 T am LEITZ-Ortholux-Pol-Mikroskop

ZEISS-Mikroskop-Photometer MPM am ZEISS-Mikroskop Standard-Universal

Beide Instrumente wurden von den entsprechenden Firmen Herrn Prof.Dr.-Ing.A.Maucher als Leihgabe zur Verfügung gestellt.

Zunächst wird das allgemeine Grundprinzip erläutert. Dann folgt die Beschreibung der gesamten zur Durchführung der Arbeit verwendeten Instrumente.

1. Allgemeines Grundprinzip

Das von dem zu photometrierenden Objektdetail reflektierte Licht geht durch die Photometerblende (Meßblende) hindurch und wird von einem sehr empfindlichen photoelektrischen Strahlungsempfänger aufgenommen. Seine Intensität wird mit einem Anzeigegerät (in unserem Fall ein Schreiber) gemessen. Wird das Präparat auf dem Mikroskoptisch verschoben, dann kann man nacheinander beliebige Objektdetails in das von der Meßblende ausgeblendete Meßfeld bringen. Die Bestimmung beruht auf der Proportionalität der Beleuchtungsstärke und der ausgelösten Photoelektronen. Die hohe Empfindlichkeit des Photomultipliers ermöglicht die Messung von sehr geringen Reflexionsintensitäten.

2. Anwendungsbereich

Mit beiden Mikroskop-Photometern können sehr schwache Strahlungsströme gemessen werden. Es sind Lichtmessungen an mikroskopischen Objekten bis herab zu etwa 1 µm Durchmesser möglich.

3. Gesamtausrüstung des LEITZ-Gerätes

Die benutzte Apparatur besteht aus einem Photovervielfacher-Meßkopf Typ SKV 315 V, der auf dem LEITZ-Mikroskop-Photometer-Aufsatz MPV (mit monokularem Einblick, auswechselbarer, variabler Meßblende, Spektralfilterschlitz u.a.) befestigt wird. Wie die Abb.1 zeigt, wird der Mikroskopphotometeraufsatz auf dem binokularen Phototubus des LEITZ-Ortholux-Mikroskops aufgesetzt. Der Photovervielfacher ist vom Typ 6o94 A (S-11) und wird durch ein hochstabilisiertes Hochspannungsnetzgerät 2oo ... 25oo V/ 5 mA, Typ NSHM, versorgt.

Die bisher genannten Teile gehören alle zum Typ MFLK, BN 5oo1 T für MPV. Für die Konstanz der Lichtquelle dient ein hochstabilisiertes, stromgeregeltes Netzgerät 0 ... 1o A/13 V, Typ NSLI, BN 68o. Zur messung des zur aufgenommenen Lichtintensität proportionalen Photostroms dient der Potentiometerschreiber Typ RE - 511 SERVOGOR der Firma "Metrawatt" AG.

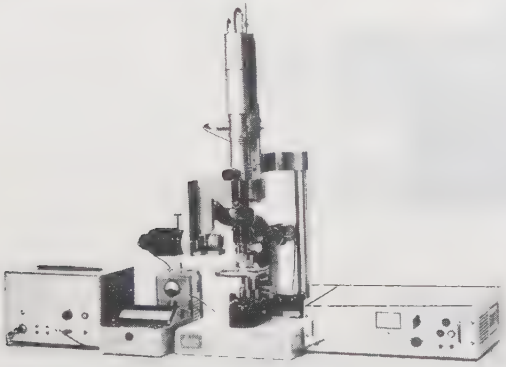


Abb. 1

Geräte-Aufbau des MPV

(Aufnahme: mit freundlicher Genehmigung der Firma LEITZ)

Technische Daten vom Leitz-Instrument aus dem Datenblatt 5oo1 von Knott/Elektronik, München.
Technische Daten vom Zeiss-Instrument aus "Vorläufige Beschreibung und Gebrauchsanweisung vom CARL ZEISS-Mikroskop-Photometer" (W 4o-83o-d)

4. Gesamtausrüstung des ZEISS-Gerätes

Sowohl die Art, wie die verschiedenen Bauteile des Photometers auf dem Mikroskop Standard Universal aufgesetzt werden, als auch die Gesamtausrüstung des ZEISS-Mikroskop-Photometers MPM werden in den Abbildungen 3 und 4 gezeigt.
Der Vervielfacher ist vom Typ RCA 1 P 28 (Spektraltyp S - 5). Seine Energieversorgung kommt von einem Hochspannungsteil des Anzeigegeräts, welches auch einen Photometerstromverstärker und ein Lichtskalengalvanometer enthält. Alle drei Teile des Anzeigegeräts sind elektronisch stabilisiert. Das Gerät wird an ein Wechselstromnetz 22o V (4o ... 6o Hz) angeschlossen, wobei keinerlei Batterien und Akkumulatoren notwendig sind. Bei Netzspannungen, die von 22o V abweichen, wird ein Zwischentransformator vorgeschaltet. Zur Konstanz der Ausstrahlung der Lichtquelle dient das stabilisierte Netzgerät GTF 12/6o.

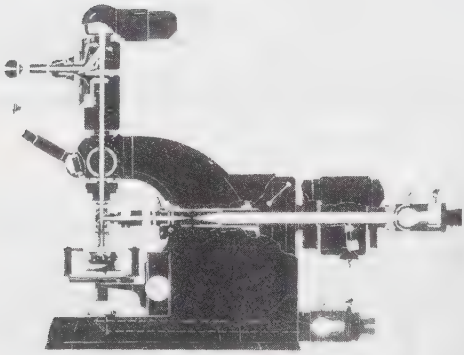


Abb. 2

Mikroskop-Photometer MPM-Strahlenverlauf bei Auflicht

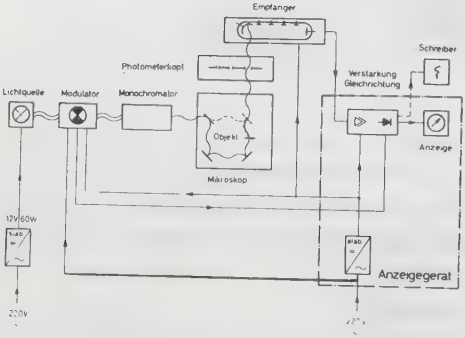


Abb. 3

Aufbau-Schema des MPM

1 = Netzgerät GTF 12/6o
2 = Leuchte 12 V, 6o W
3 = Lichtmodulator
4 = Verlauffilter-Monochromator

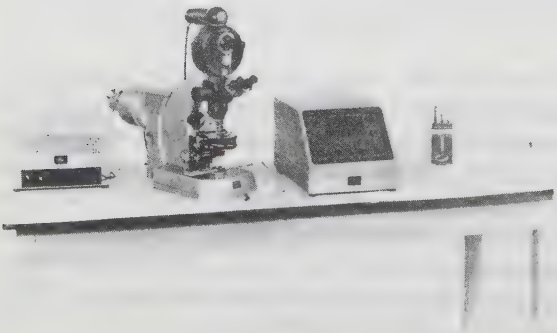


Abb. 4

Geräte-Aufbau des MPM

5 = Photometerkopf
6 = Empfängergehäuse mit Empfänger
7 = Anzeigegerät rechts der Schreiber

(Aufnahmen: mit freundlicher Genehmigung der Firma ZEISS)

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die spektrale Empfindlichkeit der benutzten Photovervielfacher

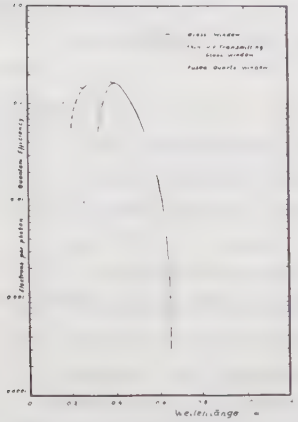


Abb. 5 Leitz-Meßanordnung. Verteilung der relativen spektralen Empfindlichkeit des Photovervielfachers 6094 A (S 11). (Nach Knott Elektronik - München)

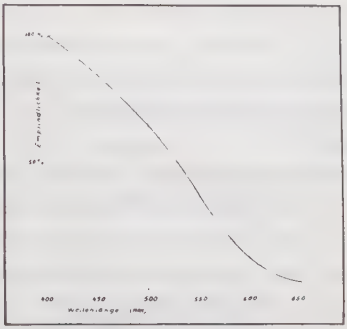


Abb. 6 Zeiss-Meßanordnung. Verteilung der relativen spektralen Empfindlichkeit des Photovervielfachers RCA I P 28 (S 5). (Nach v.GEHLEN & PILLER, in "Zur Optik von Covellin", 1964)

Die Reflexionsvermögensmessungen wurden bei beiden Mikroskop-Photometern nur mit Polarisator durchgeführt (Schwingungsrichtung horizontal)

5. Zur Auswahl geeigneter Reflexionsstandards

Zur Durchführung der Reflexionsvermögensmessungen hat man bei vorliegender Arbeit einen Schwarzglas-Standard der Firma Leitz (Nr.28) verwandt. Es handelt sich hierbei um vier verschiedene Standards mit ganz verschiedenem Reflexionsvermögen, die auf einer Platte montiert worden sind.

Zweckmäßigerweise werden hier diese Standards mit der Nr. 1, 2, 3 und 4 bezeichnet, und zwar nach zunehmendem Reflexionsvermögen.

Die von der Firma Leitz tabellierten Werte werden anschließend in % aufgeführt.

St.	437 nm	486 nm	546 nm	589 nm	656 nm
4	92,8	92,3	90,8	88,9	85,8
3	26,9	29,3	29,4	28,6	26,9
2	15,1	16,2	16,3	16,0	15,1
1	4,37	4,32	4,29	4,18	4,21

Tabelle 1

Reflexionsvermögenswerte des Leitz-Standards (Nr.28) für verschiedene Wellenlängen (nm) in %.
Mit einem mittleren Fehler von ± 2 % relativ

Da die hier untersuchten Erzmineralien ganz verschiedene Reflexionsvermögen besitzen, war es zunächst notwendig eine Auswahl unter den vier Standards 1, 2, 3 und 4 zu treffen, so daß für jedes Mineral - je nach seinem Reflexionsvermögen - der geeignetste Standard benutzt werden konnte.

Literatur-Hinweise: BOWIE,1965, S.1326-1328; BOWIE,1967, S.278-279 und 281-282; BOWIE & HENRY,1964, S.476; DEMIRSOY,1967, S.270; LØW,1966,S.611

In vorliegender Arbeit ist folgende Methode verwendet worden:
Es sind zuerst Reflexionsvermögensmessungen mit dem Standard 1 als Referenzwert durchgeführt worden, wobei alle drei anderen Standards 2, 3 und 4 als Objekte mit unbekanntem Reflexionsvermögen betrachtet worden waren. Da das Reflexionsvermögen dieser drei anderen Standards auch bekannt ist, (Tabelle 1) kann auf diese Art das tabellierte Reflexionsvermögen mit dem gemessenen verglichen werden. Wenn man diesen Versuch mit jedem dieser Standards als Referenz wiederholt, kann man am Ende ermitteln - je nach dem Reflexionsvermögen des Minerals - welcher Standard am geeignetsten für ein bestimmtes Mineral ist.
Das benutzte Gerät war das Leitz-Mikroskop-Photometer und die Messungen sind für die verschiedene Wellenlänge (437, 486, 546, 589 und 656 nm) mittels Interferenzverlauffilter VERIL B-200 von Jenaer Glaswerk Schott & Gen., Mainz durchgeführt worden.

Nach Verwendung der erklärten Methode zur Auswahl geeigneter Reflexionsstandards konnte man sehen, daß im allgemeinen kein ganz bestimmtes Verhältnis zwischen den wahren und gemessenen Werten zu beobachten war und gerade deswegen war es nicht möglich Eichkurven zu zeichnen. Trotzdem ist es erwähnenswert, daß diese Unterschiede zwischen gemessenen und wahren Werten innerhalb des mittleren relativen Fehlers der Standards ± 2 % bleiben.

Daraus ergab sich für die weitere Arbeit folgendes:

- Zur Durchführung des Reflexionsvermögens von Zinkblende wird der Standard 2 als Eichstandard bentutz,
- bei Magnetkies der Standard 3 und
- für Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies und Dyskrasit der Standard 4.

III. ZUR MESSUNG DES REFLEXIONSVERMÖGENS MIT DEM LEITZ-MIKROSKOP-PHOTOMETER MPV, Typ MFLK, BN 5oo1 T

Anzeigegerät: Potentiometer-Schreiber
SERVOGOR der Fa.Metrawatt

Zunächst wird im allgemeinen der Meßvorgang beschrieben und dann werden die Faktoren, die einen direkten Einfluß auf die Meßergebnisse ausüben, aufgeführt.

1. Meßvorgang

Es ist wie folgt vorzugehen:

a) Nach Einschaltung des Gerätes ist ungefähr 2o Minuten zu warten (Einstellzeit). Vor dieser Zeit ist mit einer möglichen Zunahme der Reflexionswerte zu rechnen. Für den Leitz-Standard 4 z.B. (s.Standardsbezeichnung auf S.15) kann der registrierte Ausschlag innerhalb dieser Zeit bis o,4 Absolutprozent (o,4 Einheiten der Skala von 1 - 1oo %) über seinen entsprechenden Eichwert steigen.

b) Justierung des Nullpunktes.

c) Der Reflexionsstandard wird in den Strahlengang gebracht.

d) Nach Umschaltung auf monochromatische Beleuchtung ist der Eingang von Fremdlicht durch den Tubus für monokularen Einblick zu verschließen.

e) Einschalten des Photometerteils, und Einstellung des Eichwertes für die betreffende Wellenlänge auf dem Schreiber.

f) Kontrolle des Nullpunktes, wobei die Korrektur wegen Eigenreflexion des optischen Systems im Mikroskop zu berücksichtigen ist (PILLER, 1967).

g) Neue Ablesung und Einstellung des Eichwertes.

h) Der Reflexionsstandard wird vom Mikroskoptisch abgenommen und sofort anschließend das Präparat unter völlig gleichen optischen Meßbedingungen in den Strahlengang gebracht. Der Reflexionswert des Präparates ist nun unmittelbar am Schreiber abzulesen.

Bei unseren Messungen zeigte sich, daß es zweckmäßig ist, obwohl dadurch die Energie der Lichtstrahlung vermindert wird, die Öffnung der Aperturblende bis zu ihrer minimalen Größe herabzusetzen. Dadurch werden Streulichteffekte beträchtlich vermindert. Es wurde bei der minimalen Öffnungsgröße der Meßblende gemessen. Die Öffnung der Meßblende soll die geeignetste Größe für die Leuchtfeldblende bestimmen.

2. Objektivzentrierung

Das Objektiv muß zentriert werden, was mit dem Fadenkreuz des monokularen Einblicks zu kontrollieren ist. Sollte die Schliff-Fläche eines isotropen Minerals in der Nähe der gemessenen Stelle hinreichend groß und einwandfrei poliert sein, dann bekommt man keinen falschen Reflexionswert, selbst bei einem etwas dezentrierten Objektiv. Dies wurde durch Sondermessungen an einem Pyritanschliff zunächst bei einem ganz genau zentrierten und dann bei einem etwas dezentrierten Objektiv nachgewiesen.

Besonders wichtig ist aber die perfekte Horizontierung der Schliff-Fläche, was unmittelbar vor der Messung mit der Handpresse kontrolliert werden muß.

3. Zur richtigen Beleuchtung des Objektteils

Die richtige Einstellung der Leuchtfeldblende - Größe und Zentrierung - soll mit Hilfe des Fadenkreuzes im monokularen Einblick vorgenommen werden. Dabei ist auf verschiedene Faktoren zu achten, und weil in manchen Fällen eine dezentrierte Beleuchtung einen sehr wichtigen Einfluß auf die Reflexionswerte hat, werden hier die verschiedenen Fälle in Betracht gezogen.

a) Wichtig für eine vollkommen scharfe und zentrische Lage des monochromatischen Lichtes, ist eine richtige Fokusierung des zu messenden Objektteils.

b) Eine richtige Einstellung der Leuchtfeldblende erhält man durch Drehung der beiden, direkt vor der Lampe angebrachten, Zentrierschrauben.

Sondermessungen zur Kontrolle des Einflusses einer derartigen Beleuchtungsdezentrierung auf das Reflexionsvermögen wurden mit Pyrit- und Zinkblendeanschliffen durchgeführt, und zwar ist bei absichtlicher und fortschreitender Dezentrierung - durch Betätigung der o.g. Zentrierschrauben - folgendes festgestellt worden:

Solange die gemessene Fläche innerhalb der beleuchteten Fläche bleibt, ist die Abweichung von dem richtigen Anzeigewert ziemlich klein (s.Abb.8 : zentrierte Position der Meßblende). Erst wenn die gemessene Fläche - Meßblende - "fast tangential" zur beleuchteten Fläche wird, erhält man eine große Variation des richtigen Anzeigewerts. Bei einer derartigen Beleuchtungsdezentrierung erhält man einen größeren Fehler bei Pyrit als bei Zinkblende. Dies ist auf folgenden Umstand zurückzuführen:

Da an den Rändern der beleuchteten Fläche des Minerals der Beleuchtungskontrast und infolgedessen der Reflektivitätskontrast maximal ist, - weil dort auch die dunkle Fläche des Minerals anfängt - ergibt sich, daß der Kontrast in der Nähe dieser Ränder, im Fall eines hochreflektierenden Minerals - Pyrit - größer ist als für ein niedrigreflektierendes Mineral - Zinkblende - .

c) Die am Lichteintrittsrohr des Illuminators festgeklemmte, spezielle Vorrichtung mit Polarisator soll ganz fest sein, sonst ist es möglich, und zwar bei einer unfreiwilligen, etwas zu kräftig ausgeführten Umschaltung auf monochromatische Beleuchtung, eine dezentrierte Lage derselben und infolgedessen auch einen ganz falschen Reflexionswert zu erhalten.

d) Eine dezentrierte Beleuchtungslage entsteht auch, wenn die Schraube vom Mikroskop, die die beiden Typen von Illuminatoren (Vertikalilluminator Typ 45°-Planglasplättchen und totalreflektierendes Kompensationsprisma) rasch auszuwechseln ermöglicht, sogar ganz wenig gedreht wird. Eine derartige dezentrierte Lage der Beleuchtung kann in der Regel vorkommen, und da dies sehr wichtig für die Reflexionswerte ist, wurde sie hier durch Sondermessungen genau kontrolliert. Ebenfalls wurde festgestellt, daß auch solche Anzeigeveränderungen bei Mineralien mit hohem Reflexionsvermögen größer sind als bei denjenigen mit niedrigerem Reflexionsvermögen. Hier aber ist der Unterschied zwischen hoch- und niedrigreflektierenden Mineralien wesentlich größer als bei b). Bei einer nicht ganz sorgfältigen Arbeit wäre mit einem eventuellen Fehler von o,2 bis o,3 % absolut wegen dieser mechanischen Angelegenheit zu rechnen.

4. Standardkontrolle

Nach jeder Messung ist es empfehlenswert, den Standardwert zu kontrollieren. Sollte er sich geändert haben, dann kann folgendes passiert sein:

a) Eine dezentrierte Lage der Beleuchtung durch 3.c) oder d).

b) Ein Fehler im Schreibersystem, d.h. dieses hat den richtigen Wert nicht genau angezeigt. Gegebenenfalls müßte man nochmals messen.

c) Ein Fehler in der Konstanz der Hochspannung des Photovervielfacher-Versorgungsgerätes, d.h. sollte der Standardwert immer noch falsch bleiben (nach Prüfungen a) und b),) dann muß das Instrument wieder geeicht werden.

Um diese Konstanz der Hochspannung zu kontrollieren, wurden folgende Messungen durchgeführt:

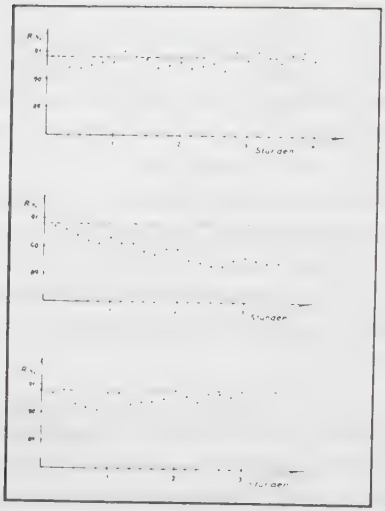


Abb.7 Reihenfolgemessungen - an drei Tagen wiederholt - von Standard Nr.4. Am Anfang: Eichung (90,8 %) bei λ= 546 nm. Reflexionsmessungen auf derselben Stelle der Standardfläche alle zehn Minuten, ohne Wiedereinstellung der Hochspannung.

Obwohl die Verteilung der Werte nicht an jedem Kontrolltag gleich ist, läßt sich trotzdem eine gewisse Tendenz einer Abnahme der Werte mit der Zeit beobachten. Es ist ebenfalls zu erwähnen, daß an den drei Kontrolltagen die maximale Abweichung vom Eichswert innerhalb des gegebenen Fehlers des Standards von $\pm$ 2 % relativ geblieben ist.
Trotz dieser letzten Feststellung, und zwar um den Meßfehler soweit wie möglich zu reduzieren, muß der Standardswert nach jeder Messung kontrolliert werden.
Da die völlige Isotropie nicht bei allen isotropen Erzmineralien zu finden ist, plus Mitwirkung des Fehlers einer nicht ganz perfekten horizontalen Lage der Schliff-Fläche, ist es empfehlenswert, bei isotropen Mineralien jede Messung mindestens in vier verschiedenen Positionen des Mikroskoptisches durchzuführen (180°, 270°, 360° und 90° z.B.). Besser ist es, wenn man am Ende der Messung den Reflexionswert noch einmal für die 180°-Position mißt. Man hat dadurch eine Kontrolle der Reproduzierbarkeit des Anzeigewertes für die 360°-Tischdrehung (Reproduzierbarkeit des Schreibers innerhalb einer Messung).
Nachdem Messungen von Dyskrasit, der ein sehr hohes Reflexionsvermögen hat, herunter bis zu Messungen von Zinkblende, die ein sehr niedriges

Reflexionsvermögen hat, durchgeführt worden sind, kann man sagen, daß im der Praxis und für die meisten Erzmineralien dieser Anzeigefehler innerhalb einer vollen Tischdrehung nicht über o,2 Absolutprozent steigt, d.h. ± o,1 Absolutprozent als maximale Abweichung vom Mittelwert.

Der gesamte maximale relative Fehler in % wird auf S.4o angegeben.

5. Minimale Größe des zu messenden Objektteils

Zur Beantwortung der Frage: 'Was ist die minimale Korngröße eines Erzes, damit unter den vorliegenden Meßbedingungen sein R.V. meßbar ist?' sind zuerst Sondermessungen an einem Pyritkristal mit verschiedenen Objektiven durchgeführt worden.

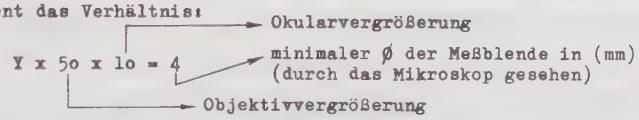
Es wurden dieselben Anzeigewerte bei Benutzung der Objektive:

5,6 x /o,15
16,5 x /o,4o
5o,o x /o,65

erhalten.

Nach diesen einleitenden Sondermessungen wurde unter Verwendung der minimalen Öffnung der Meßblende die Größe der gemessenen Schliff-Fläche bestimmt.

Dazu dient das Verhältnis:



Y = o,oo8 mm (Durchmesser der mit diesem Objektiv und Okular minimalen gemessenen Fläche)

Zur Auswahl der richtigen Größe der beleuchteten Fläche sei eine von PILLER (1967,S.252) angegebene Tabelle gezeigt, wo er die Eigenreflexion des Objektivs (glare effect) in Abhängigkeit von dem Größenverhältnis zwischen der beleuchteten - und gemessenen Fläche angibt.

Objektiv Vergrößerg. und N.A.	gemessene Fläche (Ø in mm)	nummerische Apertur der Beleuchtung	beleuchtete Fläche des Anschliffes (Ø in mm)	Eigenreflex. des Objektivs (ρ %)
x4o/o,85	o,o1	o,17 (n sen σ i)	o,34	8,1
			o,o8	o,62
			o,o2	o,o28
x8o/o,95	o,oo5	o,33	o,17	1,85
			o,o4	o,21
			o,o1	o,o18

Tabelle 2 Auszug der Tabelle III von H.PILLER (1967,S.252) λ = 55o mμ

Es ergibt sich also nach dieser Tabelle, daß für eine gemessene Fläche von o,oo8 mm eine beleuchtete Fläche von o,o16 mm am geeignetsten ist. Zur Frage, wie klein unter den genannten optischen Bedingungen ein einzelnes Erzkorn in der Praxis sein kann, siehe Abb.8

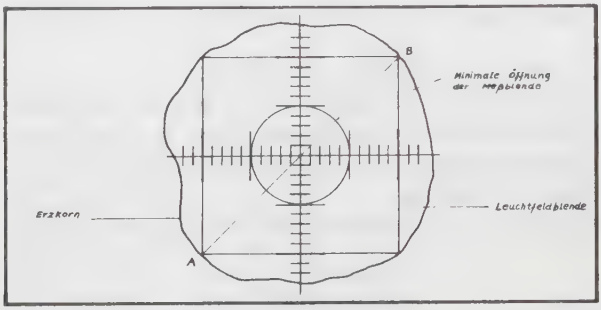


Abb.8 Zeigt ein Erzkorn, bei dem die beleutete Fläche vollkommen innerhalb desselben bleibt.

- AB sei der Korndurchmesser unter mikroskopischer Beobachtung. Er beträgt 11,2 mm.
- Der wahre Korndurchmesser wäre also: $X = \frac{11,2}{5o \times 1o}$

$$X = o,o22 \text{ mm}$$

6. Über den Einfluß von Nachbarkörnern auf das Reflexionsvermögen eines Minerals

Es wurde hier der Einfluß, den die Anwesenheit eines Nachbarkorns mit verschiedenem Reflexionsvermögen wegen des Streulichteffektes hat, untersucht. Dazu wurde ein extremer Fall genommen, wobei die monochromatisch beleuchtete Fläche des Anschliffes nicht loo % innerhalb des abzumessenden Erzkorns liegt, sondern auch teilweise ein Nachbarkorn eines anderen Minerals mitbeleuchtet wird. Theoretisch handelt es sich dabei um ein Phänomen, das von dem Reflexionsvermögensunterschied beider nebeneinander auftretenden Mineralien abhängt, und infolgedessen sollte es jedes Mal analysiert werden. Es ist für diese Untersuchungen das Beispiel von Pyrit neben Zinkblende - zwei Mineralien mit sehr verschiedenem Reflexionsvermögen - genommen worden. Zuerst wurde die Reflexion von Pyrit mit der monochromatisch beleuchteten Fläche loo %ig innerhalb des Pyrits gemessen (Abb.9a). Dann sind Reihenmessungen auf demselben Pyrit durchgeführt worden, wobei ein Zinkblendekorn immer näher an den Pyrit heranrückt (Abb.9b und c). Bei b) wird bereits der Rand der Zinkblende beleuchtet. Bei c) ein Teil und bei d) liegt sogar ein Teil der Meßblende auf Zinkblende.

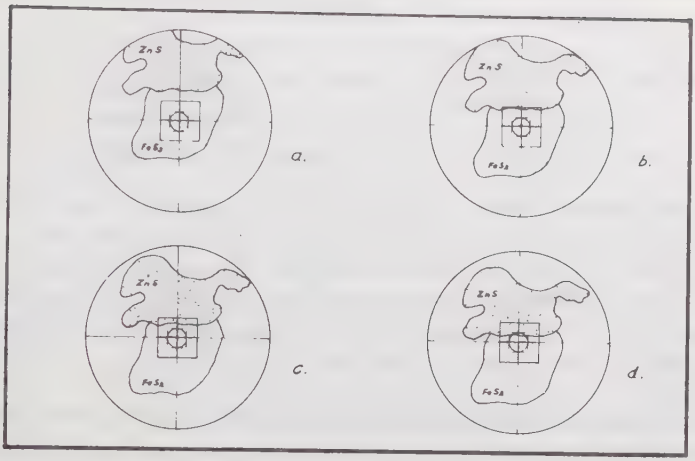


Abb.9 Anzeigewerte für das reflektierte Licht bei λ = 546 (nm).
a. 54,5 - 54,6; b. 54,5 - 54,6; c. 54,3 - 54,5; d. 44,3 - 53,1

Man sieht also, daß obwohl bei b) die Zinkblende schon am Rand beleuchtet wird, kein Unterschied zum normalen Wert a) vorkommt. Je mehr die Leuchtfeldblende in das Zinkblendekorn rückt, umso mehr verändert sich der Reflexionswert bis d), wobei die gemessene Fläche nicht mehr monomineralisch ist. Dies führt natürlich sofort zu einem Reflexionswert, der völlig anders als das Reflexionsvermögen von Pyrit ist.
Diese Ergebnisse zeigen, daß es wohl möglich ist, das Reflexionsvermögen von Pyrit genau zu bestimmen, selbst wenn der Rand eines Zinkblende-Nachbarkorns schwach beleuchtet wird. Dies ermöglicht also in diesem Fall die Messung des Reflexionsvermögens eines Pyritkörnchens, das sogar etwas kleiner als die beleuchtete Fläche ist. Obwohl aus diesem Beispiel von Pyrit-Zinkblende keine Verallgemeinerung für andere Mineralien abgeleitet werden kann, läßt es sich, wegen des großen Reflexionsvermögensunterschieds zwischen diesen beiden Mineralien, (in der Grössenordnung von 36,5 % absolut für λ = 546 nm) denken, daß man in diesem Sinn mit einer gewissen Toleranz bei der Beleuchtung der zu messenden Mineralien rechnen kann.

Es wurde auch das Beispiel der Kupferkies-Entmischung von Zinkblende in Betracht gezogen.
Da der Reflexionsvermögensunterschied zwischen diesen zwei Mineralien ziemlich groß ist (ungefähr 29 % absolut für λ = 546 nm) stellen diese

Mineralien ein gutes Beispiel der Mitwirkung zwei verschieden reflektierender Objekte dar.

Man hat bei diesen Messungen einen Fall genommen, wo die kleinen Kupferkieskörper völlig innerhalb der gemessenen Fläche liegen.

- Die Größe der gemessenen Fläche war: o,o24 mm Ø
- die durchschnittliche Größe der Kupferkieskörnchen in Zinkblende beträgt zwischen o,oo1 und o,oo2 mm Ø

Aus den Messungen von Anschliffen (PR-3M) von der Grube Bayerland und (PR-28A) Grube Terlan, Süd-Tirol konnte man folgendes beobachten: Bei den Fällen wo Kupferkieskörnchen innerhalb der gemessenen Fläche "nicht sehr häufig vorkommen", hat man Werte erhalten, die in 90 % der Fälle innerhalb 17,9o ± o,1o % R.V. liegen. Dies bedeutet praktisch keine Abweichung von dem Reflexionsvermögenswert der Zinkblende. (Siehe: ZnS - R.V. S.35)

Unter "nicht sehr häufig" versteht man hier die in Abb.10a mit Punkten angegebene Körnchenverteilung.

Abb. 10a Die gesamte Oberfläche der Punkte beträgt 2 % der ganzen Fläche

Abb.10b Die gesamte Oberfläche der Punkte beträgt 5,9 % der ganzen Fläche

Wenn aber diese Kupferkieskörnchen innerhalb der gemessenen Fläche "dicht aneinanderliegen" hat man dagegen Werte erhalten, die rund 19 % Reflexionsvermögen haben.

Unter "dicht aneinander" versteht man hier die in Abb.10b gezeigte Körnchenverteilung.

IV. ÜBER DIE WERTE UND FEHLER BEI REFLEXIONSVERMÖGENS-MESSUNGEN DER UNTERSUCHTEN MINERALIEN.

1. Allgemeines über die Werte und Fehler bei Reflexionsvermögensmessungen isotroper Mineralien.

Die aus den Reflexionsvermögensmessungen isotroper Mineralien erhaltenen Werte ergeben für jede Wellenlänge und für jeden Anschliff eine gewisse maximale Wertestreuung. Um diese Streuung möglichst klein zu halten soll das Instrument mechanisch und elektronisch stabilisiert und optisch justiert werden (dazu sind ebenfalls die im Kapitel III entsprechend angegebenen Anweisungen zu beachten). Trotzdem ist beim Messen immer noch mit einem gewissen kumulativen Fehler zu rechnen, der wesentlich auf folgende Faktoren zurückzuführen ist:

a) Nicht einwandfreie Gleichrichtung des Präparates auf dem Mikroskoptisch, obwohl es mit der Handpresse plangepreßt worden ist.

b) Reproduzierbarkeit des Schreibers innerhalb einer Tischumdrehung von 360°.

c) Nicht perfekte Isotropie der Meßstelle.
Betrachtet man sämtliche Messungen, die von demselben isotropen Mineral in vorliegender Arbeit gemacht wurden (Anschliffe aus verschiedenen Fundorten stammend), dann spielen dabei noch zwei Faktoren eine Rolle, und zwar:

d) "Nicht identische Isotropie" der verschiedenen Meßstellen (es wird hierbei an verschiedene Fundorte und Paragenesen gedacht).

e) Mögliche kleine Unterschiede in der Schliffqualität zwischen den verschiedenen Präparaten, obwohl alle mit derselben Poliermethode behandelt wurden.

Aus der für jedes Mineral und jede Wellenlänge entstehenden maximalen Wertestreuung (Messungen an demselben Mineral von verschiedenen Fundorten stammend) wird der Mittelwert von 90 % der gesamten durchgeführten Messungen als "bester Wert" betrachtet. Die übrigen 10 % der Messungen bestehen aus Werten, die weniger kennzeichnend sind (im Vergleich zum Mittelwert zu stark abweichend).

Zur Bestimmung des Reflexionsvermögens dieser Mineralien war die Feststellung wichtig, ob die mit beiden Mikroskop-Photometern erhaltenen Reflexionswerte übereinstimmten oder von einander abweichen, wobei vor allem die Größe etwaiger Abweichungen interessierten.

2. Vergleichsmessungen des Reflexionsvermögens unter Verwendung des LEITZ- und ZEISS-Mikroskop-Photometers

Zum Vergleich der Reflexionsvermögenswerte beider Geräte wurden folgende Anschliffe benutzt:

Anschliff	(o514)	----- Pyrit
"	(o521)	----- Zinkblende
"	(PR-2H)	----- Zinkblende
"	(o531)	----- Bleiglanz
"	(o336)	----- Kupferkies

Alle diese Anschliffe (außer o531) waren sehr gut poliert.

Auf jedem Anschliff wurde eine ganz bestimmte Stelle der Schliffläche betrachtet, in der das Reflexionsvermögen zuerst mit einem und dann unmittelbar nachher mit dem anderen Mikroskop-Photometer gemessen wurde. Vorzugsweise sind bei diesen Messungen nur isotrope Mineralien verwendet worden, da bei anisotropen Mineralien durch einen möglichen Fehler in der Lokalisierung der gleichen Meßstelle mit beiden Mikroskopen verschiedene Werte entstehen könnten. Von den anisotropen Mineralien wurde, wegen seiner niedrigen Anisotropie, nur Kupferkies benutzt. Um nicht nur einen Vergleich zwischen den Reflexionswerten mit beiden Instrumenten zu haben, sondern auch, um die Reproduzierbarkeit dieser Werte mit jedem Instrument kontrollieren zu können, wurden auch Messungen mit Pyrit und Zinkblende zu verschiedener Zeit (alle 2 Tage) durchgeführt. Jedesmal wurde das Reflexionsvermögen auf derselben Stelle, erst von Pyrit (o514) und dann von Zinkblende (o521) bei verschiedener Wellenlänge, mit beiden Mikroskop-Photometern gemessen.

Es wurde versucht, soweit möglich, die gleichen Meßbedingungen bei den zwei Instrumenten herzustellen, wobei für beide derselbe Schreiber und derselbe LEITZ-Reflexionsstandard verwendet wurden. Für das ZEISS-Gerät stand der Interferenzverlauffilter, Typ Veril S 2oo, Schott & Gen., Mainz und für das LEITZ-Gerät das Interferenzverlauffilter, Typ Veril B 2oo, derselben Firma zur Verfügung.
Die Objektivvergrößerung für beide Instrumente betrug 16 x /o,35

Die Tabelle 3 zeigt die Pyrit (o514)-Reflexionswerte von beiden Mikroskop-Photometern. Auf der rechten Seite der Tabelle wird das Datum der Messungen aufgeführt. Für jede Messung wird unter "R.V." der Mittelwert einer Tischumdrehung von 360° mit der entsprechenden Wertestreuung angegeben.

Der maximale relative Fehler ausgedrückt in " % " erscheint in der Spalte 3 für das LEITZ-Gerät und in Spalte 5 für das ZEISS-Gerät.

λ nm	L E I T Z		Z E I S S		
	R. V. %	Max. rel. Fehler %	R. V. %	Max. rel. Fehler %	Datum
437	43,1o ± o,2o	o,5	42,7o ± o,1o	o,2	19.11.67
	42,95 ± o,25	o,6	42,45 ± o,25	o,6	21,11.67
	43,o5 ± o,25	o,6	42,4o ± o,1o	o,2	23.11.67
486	5o,3o ± o,1o	o,2	5o,2o ± o,2o	o,4	19.11.67
	5o,55 ± o,25	o,5	5o,1o ± o,2o	o,4	21.11.67
	5o,4o ± o,2o	o,4	5o,1o ± o,2o	o,4	23.11.67
546	54,55 ± o,15	o,3	54,5o ± o,3o	o,6	19.11.67
	54,7o ± o,2o	o,4	54,6o ± o,3o	o,5	21.11.67
	54,6o ± o,2o	o,4	54,75 ± o,25	o,5	23.11.67
589	56,oo ± o,2o	o,4	56,55 ± o,25	o,4	19.11.67
	56,1o ± o,3o	o,5	56,55 ± o,25	o,4	21.11.67
	56,oo ± o,2o	o,4	56,5o ± o,3o	o,5	23.11.67
656	56,5o ± o,5o	o,9	56,8o ± o,5o	o,9	19.11.67
	56,6o ± o,4o	o,7	56,8o ± o,5o	o,9	21.11.67
	56,8o ± o,4o	o,7	56,8o ± o,4o	o,7	23.11.67

Tabelle 3 Vergleich von drei zu verschiedener Zeit und auf derselben Stelle der polierten Fläche durchgeführten R.V.-Messungen eines Pyrit-Anschliffs. Messungen mit beiden Mikroskop-Photometern. Anschliff: Pyrit (o514)

Aus diesen Ergebnissen sieht man:
Die starke und schon bekannte Pyrit-Reflexionsvermögens-Streuung für diesen Teil des sichtbaren Spektrums. Die spektrale Reflexionsfunktion weist jedoch eine ziemlich flache Zone zwischen dem Grün und dem Rot auf.

Bei den Messungen für λ = 656 (nm) sieht man bei beiden Instrumenten, daß die Streuung der Anzeige wesentlich größer ist als für die kleineren Wellenlängen. Der Grund hierfür liegt darin, daß sowohl der Vervielfacher des Zeiss-Geräts - Typ RCA 1P 28 (S-5) als auch der des LEITZ-Gerätes - Typ 6o94A (S-11) - im allgemeinen für Wellenlängenbereiche unter 656 (nm) geeignet sind, wobei beim Typ RCA 1P 28 (S-5) der Bereich bis 6oo (nm) und bei Typ 6o94A (S-11) bis 62o nm reicht. Bei einer entsprechenden Verstärkung des Photostroms ist es möglich, auch noch über diese angegebenen Wellenlängen-Grenzen hinaus zu messen. Wegen der hohen Vervielfacherspannung und der maximalen Verstärkung erhält man unvermeidbare Schwankungen des Photostroms (Schroteffekt des Photovervielfachers) und infolgedessen auch eine Streuung

der Meßanzeige. Beim Vergleich zwischen den drei zu verschiedener Zeit durchgeführten Messungen, kann man sehen, daß für dasselbe Gerät die erhaltenen Mittelwerte bei einer bestimmten Wellenlänge höchstens um o,3 Absolutprozent differieren. Dies ist für beide Instrumente gleich (dadurch wird die Refproduzierbarkeit der Werte mit beiden Instrumenten angezeigt.)

Werden die Meßergebnisse beider Instrumente verglichen, dann sieht man:

Bei λ = 437 nm sind die Anzeigewerte bei dem Leitz-Instrument etwas höher als bei dem Zeiss-Instrument.

Bei λ = 486 nm wird dieser Unterschied kleiner.

Bei λ = 546 nm sind die Anzeigewerte beider Instrumente grundsätzlich gleich.

Bei λ = 589 nm und
656 nm sind die Anzeigewerte des Leitz-Instruments etwas niedriger als die des Zeiss-Instruments. Um dieses Werteverhältnis zwischen beiden Geräten nachzuprüfen, wurden je noch fünf weitere Schliffstellen desselben Präparates-Pyrit o514 betrachtet. Alle fünf Messungen wurden am selben Tag durchgeführt.

λ nm	LEITZ		ZEISS	
	R. V. %	Max.rel.Fehl. %	R. V. %	Max.rel.Fehl. %
437	43,oo ± o,1o	o,2	42,65 ± o,25	o,6
486	5o,45 ± o,25	o,5	5o,15 ± o,25	o,5
546	54,45 ± o,25	o,5	54,45 ± o,35	o,6
589	55,95 ± o,5o	o,9	56,5o ± o,3o	o,5
656	56,5o ± o,5o	o,9	56,8o ± o,5o	o,9

Tabelle 4 Vergleich zwischen den Mittelwerten von fünf Reflexionsmessungen unter Verwendung von beiden Mikroskop-Photometern.
Anschliff: Pyrit (o514).

Diese letzten Ergebnisse bestärken die ersten.

Wie bei Pyrit (o514) wurden derartige Messungen auch bei Zinkblende durchgeführt. Anschliff (o521). Die erhaltenen Werte für eine bestimmte Stelle der Schliff-Fläche werden auf der Tabelle 5 angegeben.

λ nm	LEITZ		ZEISS		
	R. V. %	Max. rel. Fehler %	R. V. %	Max. rel. Fehler %	Datum
437	19,oo ± o,1o	o,5	19,o5 ± o,15	o,8	2o.11.67
	18,85 ± o,15	o,8	18,95 ± o,15	o,8	22.11.67
	18,85 ± o,o5	o,3	19,o5 ± o,15	o,8	23.11.67
486	18,4o ± o,1o	o,5	18,25 ± o,15	o,8	2o.11.67
	18,4o ± o,2o	1,1	18,25 ± o,25	1,4	22.11.67
	18,35 ± o,o5	o,3	18,15 ± o,15	o,8	23.11.67
546	17,8o ± o,oo	o,o	17,7o ± o,1o	o,6	2o.11.67
	17,9o ± o,1o	o,6	17,65 ± o,25	1,4	22.11.67
	17,85 ± o,o5	o,3	17,65 ± o,15	o,8	23.11.67
589	17,3o ± o,1o	o,6	17,2o ± o,1o	o,6	2o.11.67
	17,45 ± o,15	o,9	17,25 ± o,25	1,4	22.11.67
	17,4o ± o,2o	1,1	17,15 ± o,15	o,9	23.11.67
656	16,9o ± o,2o	1,2	16,85 ± o,25	1,5	2o.11.67
	17,oo ± o,1o	o,6	17,oo ± o,2o	1,2	22.11.67
	16,7o ± o,15	o,9	16,65 ± o,15	o,9	23.11.67

Tabelle 5 Vergleich von drei zu verschiedener Zeit und auf derselben Stelle der polierten Fläche durchgeführten R.V.-Messungen eines Zinkblende-Anschliffs. Messungen mit beiden Mikroskop-Photometern.
Anschliff: Zinkblende (o521).

Wie bei Pyrit wurden noch zusätzliche Messungen auf demselben Anschliff durchgeführt, deren durchschnittliche Werte für die verschiedenen Wellenlängen in Tabelle 6 angegeben werden. Alle Messungen wurden am selben Tag durchgeführt.

λ nm	LEITZ		ZEISS	
	R. V. %	Max. rel. Fehler %	R. V. %	Max. rel. Fehler %
437	18,9o ± o,1o	o,5	19,3o ± o,2o	1,o
486	18,7o ± o,o5	o,3	18,45 ± o,2o	1,1
546	17,9o ± o,oo	o,o	17,7o ± o,2o	1,1
589	17,4o ± o,15	o,9	17,3o ± o,15	o,9
656	16,9o ± o,2o	1,2	16,75 ± o,25	1,5

Tabelle 6 Vergleich zwischen den Mittelwerten von fünf Reflexionsvermögensmessungen. Anschliff: Zinkblende (o521)

Bei Zinkblende wurde auch der Anschliff (PR-2H) zu diesen Messungen herangezogen.

λ nm	L E I T Z		Z E I S S	
	R. V. %	Max. rel. Fehler %	R. V. %	Max. rel. Fehler %
437	18,45 ± 0,15 18,45 ± 0,15	0,8 0,8	18,50 ± 0,10 17,70 ± 0,20	0,5 1,1
486	17,80 ± 0,00 17,90 ± 0,10	0,0 0,6	17,75 ± 0,05 17,75 ± 0,25	0,3 1,4
546	17,00 ± 0,00 17,30 ± 0,20	0,0 1,2	17,00 ± 0,10 17,30 ± 0,10	0,6 0,6
589	16,85 ± 0,05 16,85 ± 0,15	0,3 0,9	16,80 ± 0,00 16,85 ± 0,15	0,0 0,9
656	16,40 ± 0,30 16,40 ± 0,30	1,0 1,8	16,60 ± 0,25 16,40 ± 0,30	1,5 1,8

Tabelle 7 Vergleichsmessungen mit beiden Instrumenten. Es wurden zwei verschiedene Meßstellen betrachtet.
Anschliff: Zinkblende (PR-2H).

Aus den Zinkblende-Messungen ergibt sich:
Eine wesentlich kleinere Streuung der R.V.-Werte bei diesem Mineral als bei Pyrit. Die Wertestreuung bei einer einzelnen Messung ist gleich oder etwas niedriger als bei Pyrit. Trotzdem kommt es zu einem höheren relativen Fehler bei Zinkblende, weil ihr Reflexionsvermögen niedriger als das von Pyrit ist. Wie bei Pyrit erhält man auch für Zinkblende eine verhältnismäßig größere Ausschlagsschwankung pro Messung für das rote Licht. Beim Vergleich zwischen den drei zu verschiedener Zeit durchgeführten Messungen kann man sehen, daß für dasselbe Gerät die erhaltenen Mittelwerte bei einer bestimmten Wellenlänge höchsten um 0,35 % absolut differieren. Dieser maximale Unterschied von 0,35 % absolut entspricht dem ZEISS-Gerät, für das LEITZ-Gerät beträgt er 0,30 %. Man sieht also, daß auch bei Mineralien mit niedrigem Reflexionsvermögen bei beiden Instrumenten praktisch dieselbe Reproduzierbarkeit erzielt wurde.

Werden die Meßergebnisse beider Instrumente verglichen, so sieht man: Bei λ = 437 nm sind die Leitz-Werte etwas niedriger als die Zeiss-Werte. Bei den anderen Wellenlängen erhält man entweder das Gegenteil, oder Werte, die mit beiden Geräten praktisch gleich sind.

Was die Messungen am Bleiglanz-Anschliff (0531) anbelangt, siehe Tabelle 8. Wegen der schlechten Politur dieser Erzprobe geben die Refle-

xionswerte nicht das Reflexionsvermögen von Bleiglanz wider, sondern dienen nur als ein anderes Beispiel für den Vergleich der Meßanzeige beider Geräte.

λ nm	LEITZ		ZEISS	
	R. V. %	Max. rel. Fehler %	R. V. %	Max. rel. Fehler %
437	46,65 ± o,45	1,o	47,7o ± o,5o	1,o
486	44,25 ± o,35	o,8	44,5o ± o,2o	o,4
546	42,4o ± o,2o	o,5	42,5o ± o,2o	o,5
589	41,7o ± o,2o	o,5	41,75 ± o,15	o,4
656	42,1o ± 1,oo	2,4	42,15 ± o,95	2,3

Tabelle 8 Vergleichsmessungen an derselben Meßstelle.
Anschliff: Bleiglanz (o531)

Aus diesen Messungen von Bleiglanz geht hervor:

Bei λ = 437 nm sind die erhaltenen Anzeigewerte des Leitz-Geräts niedriger als die des Zeiss-Geräts

Bei λ = 486 nm wird dieser Unterschied wesentlich kleiner und

bei λ = 546 nm wird er noch niedriger.

Bei λ = 589 nm und
656 nm sind die Werte gleich.

Tabelle 9 zeigt die erhaltenen R.V.-Werte von Kupferkies (o336). Für jede Wellenlänge werden die zwei Uniradialen-Reflexionsvermögen R_1 und R_2 angegeben. Es wurde nur eine Meßstelle betrachtet und dort das R.V. gemessen.

λ nm	LEITZ		ZEISS	
	R_1 %	R_2 %	R_1 %	R_2 %
437	29,8	28,2	27,6	26,6
486	41,7	4o,8	41,3	4o,5
546	48,8	48,2	48,8	48,2
589	5o,2	48,5	51,1	49,9
656	51,6	49,6	52,6	51,o

Tabelle 9 Vergleichsmessungen von Kupferkies.
Anschliff (o336) Nur eine Meßstelle.

Durch die Vergleichsmessungen läßt sich erkennen, daß es mit dem Ansteigen des Reflexionsvermögens eines Minerals zu einer relativen Zunahme des Anzeigewerts des Zeiss-Gerates im Vergleich zum Anzeigewert des Leitz-Gerates kommt. Dieser Werteunterschied zwischen beiden Instrumenten erreicht im allgemeinen sein Maximum im blauen Bereich des Spektrums, d.h. dort, wo beide Photovervielfacher ihre maximale Empfindlichkeit erreichen. Es sei erwähnt, daß für λ = 546 nm - die Standardwellenlänge - +) der Werteunterschied zwischen beiden Instrumenten minimal wird.

Bei 92 % der Vergleichsmessungen ist der Werteunterschied zwischen beiden Instrumenten nicht größer als 1,5 Relativprozent, d.h. er bleibt innerhalb des Reproduzierbarkeitsfehlers der Anzeigewerte (s. S.4o).

3. Reflexionsvermögen der untersuchten isotropen Mineralien

Für jede polierte Probe wird eine Tabelle mit den erhaltenen Reflexionsvermögenswerten für die verschiedenen Wellenlängen angegeben. Zahl der Messungen pro Präparat und pro λ: durchschnittlich 8. Das tabellierte R.V. für jede Wellenlänge entspricht dem Mittelwert der durchgeführten Messungen.

Gerät : Leitz-Mikroskop-Photometer.

Pyrit-Messungen:

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	43,oo ± o,3o	o,7
486	5o,5o ± o,3o	o,6
546	54,55 ± o,35	o,6
589	55,95 ± o,5o	o,9
656	56,6o ± o,6o	1,1

Tabelle 10 R.V.-Werte von Pyrit aus Rio Marina/Insel Elba. Pyritkristal orientiert nach (111). Anschliff (o514)

+) Die Wellenlänge λ = 546 nm wurde im Dezember 1964 in der XXII. Sitzung des in New Delhi stattgefundenen "International Geological Congress" als "Standardwellenlänge" bezeichnet.

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	42,95 ± o,15	o,3
486	5o,35 ± o,35	o,7
546	54,65 ± o,45	o,8
589	55,5o ± o,4o	o,7
656	56,3o ± o,6o	1,1

Tabelle 11 R.V.-Werte von Pyrit aus Grube Terlan/ Süd Tirol. Anschliff (PR-28A).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	43,1o ± o,1o	o,2
486	5o,oo ± o,1o	o,2
546	54,75 ± o,25	o,5
589	56,oo ± o,2o	o,4
656	56,7o ± o,4o	o,7

Tabelle 12 R.V.-Werte von Pyrit aus Mina de Louzal/ Portugal. Anschliff (PR-25E).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	43,2o ± o,2o	o,5
486	5o,45 ± o,25	o,5
546	54,55 ± o,35	o,6
589	56,1o ± o,35	o,6
656	56,7o ± o,5o	o,9

Tabelle 13 R.V.-Werte von Pyrit aus Grube Bayerland/ Oberpfalz. Anschliff (PR-3M)

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	43,65 ± o,15	o,3
486	5o,55 ± o,25	o,5
546	54,6o ± o,5o	o,9
589	55,85 ± o,65	1,2
656	56,5o ± o,7o	1,2

Tabelle 14 R.V.-Werte von Pyrit aus Monti di Campiglia/Toscana. Anschliff (0509)

Aus den gesamten durchgeführten R.V.-Messungen von Pyrit ergeben sich folgende Werte als besonders kennzeichnend für sein R.V. (bester Wert):

	R.V. % (bester Wert)	Rel.Fehler %
λ = 437 nm	43,oo ± o,2o	o,46
λ = 486 nm	5o,4o ± o,2o	o,39
λ = 546 nm	54,6o ± o,2o	o,36
λ = 589 nm	56,oo ± o,3o	o,53
λ = 656 nm	56,5o ± o,5o	o,88

Die Abb.11 zeigt eine graphische Darstellung der erhaltenen R.V.-Werte von Pyrit. Es werden ebenfalls Werte nach den folgenden Autoren in derselben Abbildung aufgeführt:

△ BOWIE (in Nichol and Phillips, 1965, S.2o5)
▼ BRADSHAW, PHILLIPS and SMITH (1966, S.865)
▽ FRICK (193o, S.61), Photometerokular
□ GRAY and MILLMAN (in Nichol and Phillips, 1965,S.2o5)
\+ HALLIMOND (1957, S.493)
o NATIONAL PHYSICAL LABORATORY von Großbritannien (in Leow, 1966, S.6o2)
x NICHOL and PHILLIPS (1965, S.2o6)
▲ ORCEL (193o, S.333)
⌀ RAMDOHR (196o, S.733), Photometerokular
■ RAMDOHR (196o, S.733), Photozelle
• Vorliegende Arbeit

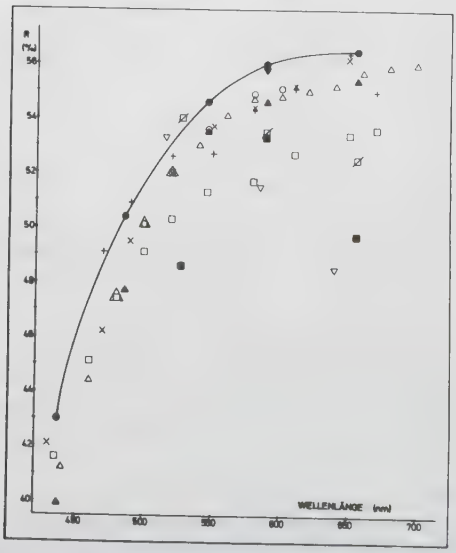


Abb.11 Spektrale Reflexionsfunktion von Pyrit mit Angabe der R.V.-Werte nach verschiedenen Autoren

Gemäß Kapitel II, S.14 beziehen sich alle Reflexionswerte der vorliegenden Arbeit auf den Leitz-Reflexionsstandard (Tabelle 1, S.15). Von demselben Reflexionsstandard hat aber vorher eine andere Eichtabelle -auch von der Firma Leitz herausgegeben- zur Verfügung gestanden, bei der die Reflexionsvermögenswerte niedriger waren. Werden solche niedrigeren Bezugswerte als Standard benutzt, dann erhält man für Pyrit das folgende niedrigere R.V.:

bei λ = 546 nm

a) R.V. = 53,6 % (Mittelwert)
R.V. des Standards Nr.4 = 89,6 % (Mittelwert)

bei λ = 589 nm

b) R.V. = 55,0 % (Mittelwert)
R.V. des Standards Nr.4 = 88,9 % (Mittelwert)

Diese Werte - a) und b) - des Reflexionsvermögens stimmen mit denen von National Physical Laboratory von Großbritannien überein (s.LEOW, 1966, S.602). Dies zeigt ganz klar, wie wichtig es ist, daß überall alle R.V.-Messungen sich auf dieselben Reflexionsstandards beziehen, deren R.V.-Werte für die entsprechenden Wellenlängen ganz bestimmt sein müßten.

Die Meßergebnisse für Zinkblende sind folgende:

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	19,10 ± 0,20	1,0
486	18,50 ± 0,20	1,1
546	17,80 ± 0,10	0,6
589	17,55 ± 0,15	0,9
656	16,85 ± 0,25	1,5

Tabelle 15 R.V.-Werte von Zinkblende aus Hagendorf/Oberpfalz Anschliff (0611).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	18,45 ± 0,15	0,8
486	17,90 ± 0,10	0,6
546	17,25 ± 0,25	1,4
589	16,85 ± 0,15	0,9
656	16,40 ± 0,30	1,8

Tabelle 16 R.V.-Werte von Zinkblende aus Tsumeb/Otavi-Berland. Anschliff (PR-2H).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	18,9o ± o,2o	1,1
486	18,5o ± o,3o	1,6
546	17,9o ± o,1o	o,6
589	17,4o ± o,2o	1,1
656	16,85 ± o,35	2,1

Tabelle 17 R.V.-Werte von Zinkblende aus Rio Marina/Insel Elba. Zinkblendenkristall orientiert nach (111). Anschliff (o521)

λ nm	R V. %	Max.rel.Fehler %
437	18,8o ± o,2o	1,1
486	18,3o ± o,2o	1,1
546	17,1o ± o,2o	1,1
589	17,15 ± o,2o	1,2
656	16,7o ± o,3o	1,8

Tabelle 18 R.V. Werte von Zinkblende aus der Grube Terlan/Süd Tirol. Anschliff (PR-28A).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	18,3o ± o,2o	1,1
486	17,7o ± o,1o	o,6
546	17,oo ± o.1o	o,6
589	16,8o ± o,1o	o,6
656	16,2o ± o,3o	1,9

Tabelle 19 R.V.-Werte von Zinkblende aus Picos de Europa/Santander. Zinkblendenkristall, orientiert nach (11o).Anschliff(o252).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	19,oo ± o,1o	o,5
486	1 ,6o ± o,2o	1,1
546	17,9o ± o,1o	o,6
589	17,55 ± o,15	o,9
656	16,9o ± o,25	1,5

Tabelle 2o R.V.-Werte von Zinkblemde aus der Grube Bayerland/Oberpfalz. Anschliff (PR-3M).

Die Meßergebnisse von Zinkblende zeigen einen Unterschied zwischen den Anzeigewerten der verschiedenen Anschliffe.

Aus späteren Mikrosondenanalysen des Fe-Gehalts ergab sich:

Anschliff			Mittlerer Fe-Gehalt
(PR-3M)	Gr.Bayerland	(Tab.2o)	≈ 11 %
(o521)	Rio Marina	(Tab.17)	≈ 8 %
(o611)	Hagendorf	(Tab.15)	≈ 6 %
(PR-28A)	Gr.Terlan	(Tab.18)	≈ 3 %
(PR-2H)	Tsumeb	(Tab.16)	< o,1 %
(o252)	Picos	(Tab.19)	< o,1 %

Man sieht also, daß mit abnehmendem Fe-Gehalt der Zinkblende das R.V. niedriger wird. Zwischen den Zinkblenden (PR-28A) und (PR-2H) entspricht der starken Abnahme der Fe-Gehalte eine entsprechend deutliche Abnahme des RVs. Obwohl keine Differenz der Fe-Gehalte von (PR-2H) und (o252) festgestellt werden konnte, läßt sich beim Vergleich zwischen Tabelle 16 und 19 eine gewisse Differenz in ihren R.V.beobachten. Der Unterschied zwischen diesen zwei Zinkblendenproben kann selbst makroskopisch bemerkt werden: Zinkblende (o252) aus Picos de Europa ist makroskopisch bräunlich-gelb und fast völlig durchsichtig; Zinkblende (PR-2H) aus Tsumeb ist hellgrau. Es ergeben sich also im Gegensatz zu Pyrit, bei Zinkblende keine besonders kennzeichnenden R.V.-Werte (bester Wert). Es würden dagegen - je nach dem Fe-Gehalt - R.V.-Werte erhalten, die in der Abb.12 graphisch dargestellt werden. Daten von anderen Autoren werden in derselben Abbildung angegeben.

ø BOWIE (1957, S.485)

\+ CISSARZ (1932, S.441), Spaltmikroskopphotometer, Erzprobe: Santander/Spanien

Δ DANA (in Nichol and Phillips, 1965,S.2o7), Erzprobe:o,15 % Fe

▲ DANA (in Nichol and Phillips, 1965,S.2o7), Erzprobe:17,o6 % Fe

o FRICK (193o, S.61), Photometerokular

▽ GRAY and MILLMAN (1962, S.337)

▼ GRAY and MILLMAN (1962, S.337), Hoher Fe-Gehalt

x NICHOL and PHILLIPS (1965, S.2o7), Hoher Fe-Gehalt (marmatite) aus Trepča/Jugoslawien

□ ORCEL (193o, S.332)

■ RAMDOHR (196o, S.472), Photometerokular, Erzprobe:Santander/Span.

● Vorliegende Arbeit

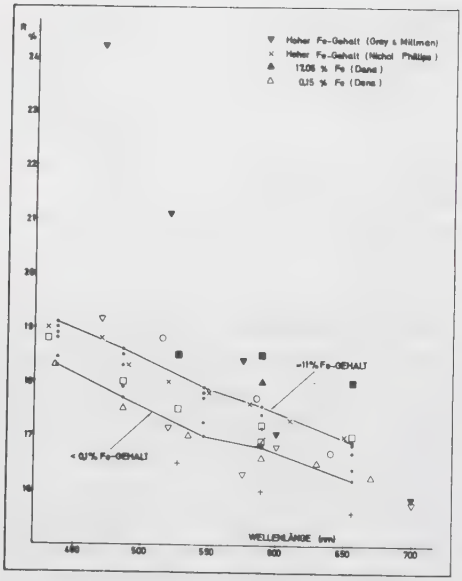


Abb. 12

Zeigt die erhaltenen Reflexionsvermögenswerte von Zinkblende. Mit zunehmendem Fe-Gehalt wird ihr R.V. höher. Die obere Kurve zeigt den höchsten Fe-Gehalt an, die untere Kurve den niedrigsten.

Auch Werte nach verschiedenen Autoren.

Meßergebnisse von Bleiglanz:

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	48,85 ± o,25	o,5
486	45,55 ± o,35	o,8
546	43,4o ± o,3o	o,7
589	42,5o ± o,3o	o,7
656	42,5o ± o,5o	1,2

Tabelle 21 R.V.-Werte von Bleiglanz aus der Grube Bleischarley/Beuthen/Oberschlesien. Messungen an zwei verschieden orientierten Schnittlagen:(1oo) und (111). Anschliff (o531).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	49,7o ± o,3o	o,6
486	46,2o ± o,3o	o,6
546	43,6o ± o,3o	o,7
589	42,75 ± o,35	o,8
656	42,5o ± o,5o	1,2

Tabelle 22 R.V.-Werte von Bleiglanz aus Tsumeb/Otavi-Bergland. Anschliff (PH-2H)

Die Meßergebnisse von Zinkblende zeigen einen Unterschied zwischen den Anzeigewerten der verschiedenen Anschliffe.

Aus späteren Mikrosondenanalysen des Fe-Gehalts ergab sich:

Anschliff			Mittlerer Fe-Gehalt
(PR-3M)	Gr.Bayerland	(Tab.2o)	≈ 11 %
(o521)	Rio Marina	(Tab.17)	≈ 8 %
(o611)	Hagendorf	(Tab.15)	≈ 6 %
(PR-28A)	Gr.Terlan	(Tab.18)	≈ 3 %
(PR-2H)	Tsumeb	(Tab.16)	< o,1 %
(o252)	Picos	(Tab.19)	< o,1 %

Man sieht also, daß mit abnehmendem Fe-Gehalt der Zinkblende das R.V. niedriger wird. Zwischen den Zinkblenden (PR-28A) und (PR-2H) entspricht der starken Abnahme der Fe-Gehalte eine entsprechend deutliche Abnahme des RVs. Obwohl keine Differenz der Fe-Gehalte von (PR-2H) und (o252) festgestellt werden konnte, läßt sich beim Vergleich zwischen Tabelle 16 und 19 eine gewisse Differenz in ihren R.V.beobachten. Der Unterschied zwischen diesen zwei Zinkblendenproben kann selbst makroskopisch bemerkt werden: Zinkblende (o252) aus Picos de Europa ist makroskopisch bräunlich-gelb und fast völlig durchsichtig; Zinkblende (PR-2H) aus Tsumeb ist hellgrau. Es ergeben sich also im Gegensatz zu Pyrit, bei Zinkblende keine besonders kennzeichnenden R.V.-Werte (bester Wert). Es würden dagegen - je nach dem Fe-Gehalt - R.V.-Werte erhalten, die in der Abb.12 graphisch dargestellt werden. Daten von anderen Autoren werden in derselben Abbildung angegeben.

ø BOWIE (1957, S.485)

\+ CISSARZ (1932, S.441), Spaltmikroskopphotometer, Erzprobe: Santander/Spanien

Δ DANA (in Nichol and Phillips, 1965,S.2o7), Erzprobe:o,15 % Fe

▲ DANA (in Nichol and Phillips, 1965,S.2o7), Erzprobe:17,o6 % Fe

o FRICK (193o, S.61), Photometerokular

▽ GRAY and MILLMAN (1962, S.337)

▼ GRAY and MILLMAN (1962, S.337), Hoher Fe-Gehalt

x NICHOL and PHILLIPS (1965, S.2o7), Hoher Fe-Gehalt (marmatite) aus Trepča/Jugoslawien

□ ORCEL (193o, S.332)

■ RAMDOHR (196o, S.472), Photometerokular, Erzprobe:Santander/Span.

● Vorliegende Arbeit

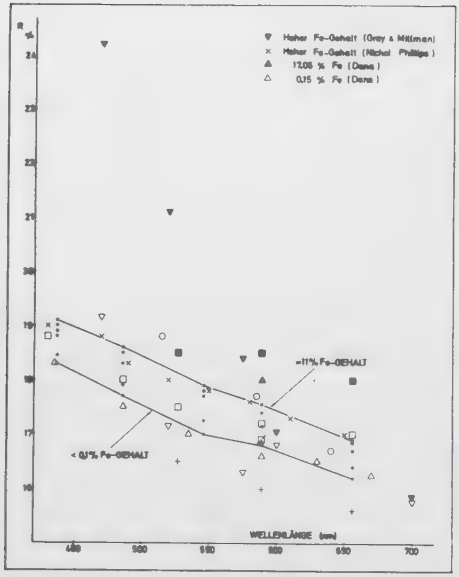


Abb. 12

Zeigt die erhaltenen Reflexionsvermögenswerte von Zinkblende. Mit zunehmendem Fe-Gehalt wird ihr R.V. höher. Die obere Kurve zeigt den höchsten Fe-Gehalt an, die untere Kurve den niedrigsten.

Auch Werte nach verschiedenen Autoren.

Meßergebnisse von Bleiglanz:

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	48,85 ± o,25	o,5
486	45,55 ± o,35	o,8
546	43,4o ± o,3o	o,7
589	42,5o ± o,3o	o,7
656	42,5o ± o,5o	1,2

Tabelle 21 R.V.-Werte von Bleiglanz aus der Grube Bleischarley/Beuthen/Oberschlesien. Messungen an zwei verschieden orientierten Schnittlagen:(1oo) und (111). Anschliff (o531).

λ nm	R. V. %	Max.rel.Fehler %
437	49,7o ± o,3o	o,6
486	46,2o ± o,3o	o,6
546	43,6o ± o,3o	o,7
589	42,75 ± o,35	o,8
656	42,5o ± o,5o	1,2

Tabelle 22 R.V.-Werte von Bleiglanz aus Tsumeb/Otavi-Bergland. Anschliff (PH-2H)

R.V.-Werte nach anderen Autoren:

o BOWIE (1957, S.485)

v CISSARZ (1932, S.448), Spaltmikroskop-Photometer
Erzprobe: Beuthen/Oberschlesien

▼ CISSARZ (1932, S.448), Spaltmikroskop-Photometer,
Erzprobe: Tsumeb/S.W.Afrika

\+ EHRENBERG (in Ramdohr, (196o, S.596)

■ HALLIMOND (1953, S.178)

△ FRICK (193o, S.61), Photometerokular

▲ ORCEL (193o, S.333)

□ RAMDOHR (196o, S.596), Photometerokular

● Vorliegende Arbeit

Bei den anderen zur Verfügung stehenden Anschliffen in denen Bleiglanz auftritt, wurde keine gute Politur erhalten (s.Kap.VII - Anhang)

Nach den Messungen an isotropen Mineralien, ergibt sich also, daß der gesamte Fehler in der Reproduzierbarkeit der Anzeigewerte für das Reflexionsvermögen bei rund o,5 - 1,5 Relativprozent liegt.

Wegen der auf S.27 bereits genannten größeren Streuung der Meßanzeige bei dem roten Extrem des Spektrums, beträgt dieser Fehler bei λ = 656 nm bis rund 2 Relativprozent.

4. Allgemeines über die Reflexionsvermögensmessungen anisotroper Mineralien

Die untersuchten anisotropen Mineralien sind Magnetkies, Kupferkies und Dyskrasit, bei denen das Reflexionsvermögen an Querschnitten beliebiger kristallographischer Orientierung gemessen wurde.

Bei einer Tischumdrehung von 360° erhält man zwei Maximalausschläge, die jeweils um 180° auseinanderliegen, und zwei Minimalausschläge, mit demselben Winkelabstand. Bei jeder Messung wurde aus den beiden Maxima der höchste, und aus den beiden Minima der niedrigste Wert als Anzeigewerte für $\underline{R}_1$ bzw. für $\underline{R}_2$ betrachtet. R_1 und R_2 fallen mit den Auslöschungslagen zusammen.

5. Reflexionsvermögen der untersuchten anisotropen Mineralien

Es folgen die Meßergebnisse von Magnetkies. Zahl der Messungen pro Anschliff: durchschnittlich acht, aus denen der Mittelwert für jede Wellenlänge tabelliert wird. Auf der rechten Seite der Tabellen wird die entsprechende relative Wertestreuung in % angegeben.

λnm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	32,65 ± 1,65	5,1
486	36,4o ± 1,7o	4,7
546	39,4o ± 1,6o	4,1
589	41,1o ± 2,1o	5,1
656	44,5o ± 1,8o	4,o

λnm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	29,9o ± o,6o	2,o
486	32,9o ± o,1o	o,3
546	36,o5 ± o,15	o,4
589	38,1o ± o,1o	o,3
656	4o,oo ± o,2o	o,5

Tabelle 24 R.V.-Werte von Magnetkies aus Monti di Campiglia/Toscana. Anschliff (o5o8)

λnm	R_1 %	Rel. Wertstr. %
437	32,45 ± 2,o5	6,3
486	36,1o ± 2,1o	5,8
546	38,75 ± 2,25	5,8
589	4o,95 ± 2,o5	5,o
656	43,oo ± 2,2o	5,1

λnm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	29,55 ± o,35	1,2
486	32,55 ± o,45	1,4
546	35,5o ± o,5o	1,4
589	37,95 ± o,15	o,4
656	41,oo ± o,5o	1,2

Tabelle 25 R.V.-Werte von Magnetkies aus Monti di Campiglia/Toscana. Anschliff (o5o9)

λ nm	R_1 %	Rel. Wertstr. %
437	33,5o ± 1,3o	3,9
486	38,o5 ± o,45	1,2
546	4o,25 ± o,75	1,9
589	42,85 ± o,25	o,6
656	44,7o ± o,4o	o,9

λ nm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	29,7o ± o,3o	1,o
486	32,3o ± o,4o	1,2
546	35,75 ± o,25	o,7
589	37,7o ± o,3o	o,8
656	4o,8o ± o,4o	1,o

Tabelle 26 R.V.-Werte von Magnetkies aus Monti di Campiglia/Toscana. Anschliff (o525)

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	31,45 ± o,55	1,7
486	33,65 ± 1,55	4,6
546	38,9o ± 1,oo	2,6
589	41,25 ± o,85	2,1
656	43,5o ± 1,2o	2,8

λ nm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	26,9o ± o,9o	3,3
486	3o,25 ± o,65	2,1
546	34,1o ± o,8o	2,3
589	36,45 ± o,65	1,8
656	39,55 ± o,7o	1,8

Tabelle 27 R.V.-Werte von Magnetkies aus Kropfmühl/Bayr.Wald Anschliff (PR-14G)

λ nm	R_1 %	Rel. Wertstr. %
437	32,9o ± 2,oo	6,1
486	36,7o ± 2,1o	5,7
546	38,75 ± o,95	2,5
589	41,6o ± 1,1o	2,6
656	43,9o ± 1,5o	3,4

λ nm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	29,25 ± 1,25	4,3
486	32,4o ± 1,4o	4,3
546	35,15 ± o,25	o,7
589	37,6o ± o,8o	2,1
656	4o,7o ± 1,oo	2,5

Tabelle 28 R.V.-Werte von Magnetkies aus Outokumpu/Finnland Anschliff (PR-27A)

λ nm	R_1 %	Rel. Wertstr. %
437	34,35 ± o,45	1,3
486	37,25 ± 1,45	3,9
546	39,6o ± 1,9o	4,8
589	42,o5 ± 1,15	2,7
656	44,3o ± o,9o	2,o

λ nm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	29,5o ± o,4o	1,4
486	32,6o ± o,6o	1,8
546	35,85 ± o,15	o,4
589	37,5o ± o,5o	1,3
656	4o,5o ± o,45	1,1

Tabelle 29 R.V.-Werte von Magnetkies aus Grube Bayerland/Oberschlesien. Anschliff (PR-3M)

Aus den gesamten durchgeführten R.V.-Messungen von Magnetkies ergeben sich folgende Werte als besonders kennzeichnend für sein Reflexionsvermögen (bester Wert)

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	32,75 ± 1,75	3,3
486	36,4o ± 2,1o	5,8
546	39,35 ± 1,65	4,2
589	41,45 ± 1,55	3,7
656	43,4o ± 1,6o	3,7

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	28,1o ± 1,9o	6,8
486	31,65 ± 1,35	4,3
546	34,85 ± 1,15	3,3
589	37,3o ± o,oo	2,1
656	4o,1o ± 1,1o	2,7

Tabelle 3o

Beste Reflexionsvermögenswerte von Magnetkies

Werden bei jeder Wellenlänge die maximalen und die minimalen Reflexionswerte betrachtet (Wertstreuung der Tabelle 3o), dann ergibt sich die obere und die untere Kurve der Abbildung 14. Für die graphische Darstellung der Werte nach GEHLEN und PILLER (1965, S.343) wurde die von ihnen angegebene Wertstreuung benützt.

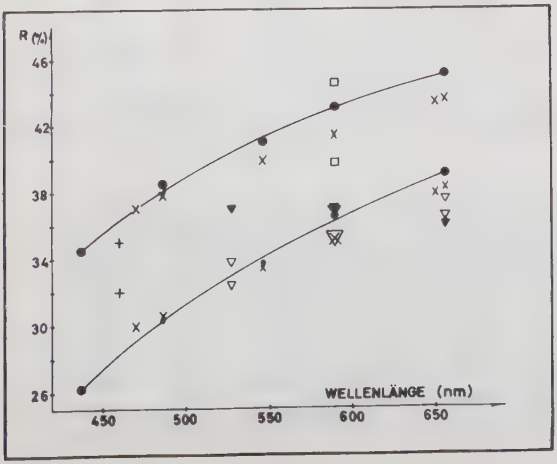


Abb. 14

Erhaltene R.V.-Werte von Magnetkies

Andere Autoren:

- ▫ BOWIE (1957, S.485)
- × GEHLEN & PILLER (1965, S.343)
- \+ ORCEL (in Ramdohr, 196o, S.548)
- ▼ RAMDOHR (196o, S.548), Photometerokular
- ▽ RAMDOHR (196o, S.548), Photozelle
- • Vorliegende Arbeit

Meßergebnisse von Kupferkies:

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	28,35 ± 1,85	6,5
486	4o,15 ± 1,65	4,1
546	47,5o ± 1,5o	3,2
589	49,35 ± 1,35	2,7
656	5o,8o ± 1,4o	2,8

λ nm	R_2 %	Rel. Wertstr. %
437	27,25 ± 1,75	6,4
486	39,45 ± 1,55	3,9
546	46,4o ± 1,8o	3,9
589	47,95 ± o,95	2,o
656	49,oo ± 1,2o	2,4

Tabelle 31 R.V.-Werte von Kupferkies aus Herdorf/Siegerland. Anschliff (o336)

λ nm	R_1 %	Rel. Wertstr. %
437	26,95 ± 1,1o	4,1
486	38,35 ± o,7o	1,8
546	47,o5 ± o,95	2,o
589	48,oo ± o,8o	1,7
656	49,2o ± 1,1o	2,2

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	25,2o ± 1,oo	4,o
486	36,35 ± o,6o	1,7
546	44,1o ± o,9o	2,o
589	45,3o ± o,4o	o,9
656	45,8o ± o,9o	2,o

Tabelle 32 R.V.-Werte von Kupferkies aus Herdorf/Siegerland Anschliff (o337)

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	28,5o ± o,7o	2,5
486	4o,2o ± o,5o	1,2
546	47,75 ± o,35	o,7
589	49,5o ± o,3o	o,6
656	51,oo ± o,5o	1,o

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	27,8o ± o,6o	2,2
486	4o,oo ± o,4o	1,o
546	47,5o ± o,6o	1,3
589	49,oo ± o,3o	o,6
656	5o,1o ± o,5o	1,o

Tabelle 33 R.V.-Werte von Kupferkies aus Mina de Louzal/Portugal Anschliff (PR-25E)

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	28,25 ± o,75	2,7
486	4o,oo ± o,55	1,4
546	47,35 ± o,35	o,7
589	49,2o ± o,3o	o,6
656	5o,6o ± o,2o	o,4

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	27,4o ± o,8o	2,9
486	39,6o ± o,6o	1,5
546	46,5o ± o,5o	1,1
589	47,9o ± o,55	1,1
656	49,2o ± o,3o	o,6

Tabelle 34 R.V.-Werte von Kupferkies aus Grube Terlan/Süd Tirol Anschliff (PR-28A)

Aus den gesamten durchgeführten R.V.-Messungen von Kupferkies ergaben sich folgende Werte als besonders kennzeichnend für sein Reflexionsvermögen (bester Wert):

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	28,65 ± 1,15	4,o
486	4o,1o ± 1,6o	4,o
546	47,6o ± 1,2o	2,5
589	49,25 ± 1,25	2,5
656	5o,45 ± 1,o5	2,1

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	27,oo ± 1,2o	4,4
486	38,85 ± 1,9o	4,9
546	45,9o ± 2,1o	4,6
589	47,3o ± 1,6o	3,4
656	48,45 ± 1,75	3,6

Tabelle 35 Beste R.V.-Werte von Kupferkies

Graphische Darstellung dieser R.V.-Werte in Abbildung 15. Die obere Kurve entspricht den maximalen erhaltenen Reflexionswerten (Wertestreuung Tab.35), die untere den minimalen.

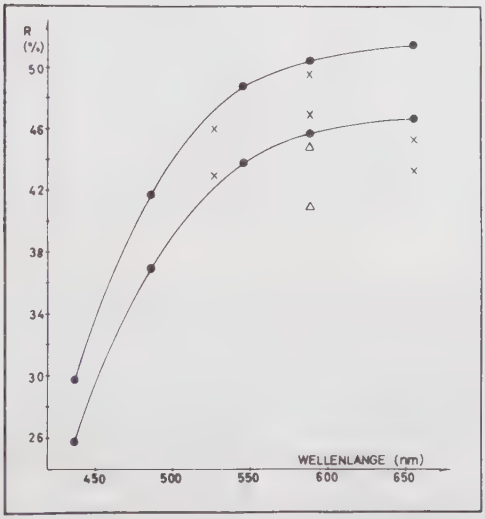


Abb.15 Erhaltene R.V.-Werte von Kupferkies.

Andere Autoren:

Δ BOWIE (1957 S.485)

x RAMDOHR (196o, S.491)

• Vorliegende Arbeit

Meßergebnisse von Dyskrasit:

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	63,6o ± o,5o	o,8
486	65,15 ± o,65	1,o
546	66,55 ± o,55	o,8
589	67,9o ± o,9o	1,3
656	7o,oo ± o,6o	o,9

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	61,8o ± o,7o	1,1
486	63,75 ± o,75	1,2
546	64,75 ± 1,25	1,9
589	65,6o ± o,8o	1,2
656	67,oo ± o,8o	1,2

Tabelle 36 R.V.-Werte von Dyskrasit aus St.Andreasberg/Harz Anschliff (o639)

λ nm	R_1 %	Rel.Wertstr. %
437	62,35 ± o,45	o,7
486	63,5o ± o,5o	o,8
546	64,6o ± o,6o	o,9
589	65,65 ± o,55	o,8
656	69,oo ± o,5o	o,7

λ nm	R_2 %	Rel.Wertstr. %
437	59,65 ± o,45	o,8
486	61,2o ± o,9o	1,5
546	62,4o ± o,9o	1,4
589	63,1o ± o,9o	1,4
656	63,oo ± o,9o	1,4

Tabelle R.V.-Werte von Dyskrasit aus Andreasberg/Harz Anschliff (PR-15L)

Es ist bekannt, daß Dyskrasit sich hervorragend polieren läßt, aber daß die Schliff-Fläche nicht ganz kratzerfrei wird (RAMDOHR, 196o, S.381). Aus diesem Grund wurden die hier behandelten Anschliffe (o639) und (PR-15L) ganz sorgfältig vorgeschliffen, geschliffen und poliert (s. erste Poliermethode auf S.57).

Nach dem Polierverfahren konnte man folgendes beobachten:

	Farb- und Reflexionseindruck	Polierverhalten
Anschliff (PR-15L)	Weist gegenüber Anschliff (o639) einen cremegelben Farbton auf.	Fast vollkommen kratzerfrei.
Anschliff (o639)	Weiß, mit sehr hohem metallartigen Reflexionseindruck	Ganz feine Kratzer vorhanden, gewisse stellen sehr gut poliert.

Aus den R.V.-Ergebnissen sieht man, daß die Werte vom Anschliff (o639) höher als die vom Anschliff (PR-15L) sind. Dazu muß man sagen, daß bei solcher Werte-Differenz die Anisotropie des Minerals natürlich eine Rolle spielt. Da aber die Anisotropie der Dyskrasit schwach ist, läßt sich daran denken, daß der genannte Unterschied im Farbton ebenfalls eine Rolle dabei spielt.

RAMDOHR (196o), S.382) gibt für Dyskrasit aus Andreasberg folgende R.V.-Werte:

grün 66,o %
orange 62,5 %
rot 61,o % (Messungen mit Photometerokular)

V. KONTROLLE DER ABHÄNGIGKEIT DES REFLEXIONSVERMÖGENS ISOTROPER MINERALIEN VON DER SCHNITTLAGE.

Zur Kontrolle des Reflexionsvermögens verschiedener Schnittlagen eines Pyritkristalls wurden Sondermessungen durchgeführt. Dazu sind zwei orientierte Querschnitte - nach (111) und nach (oo1) - aus einem Pyritkristall von Rio Marina angefertigt worden:

Polierte Fläche nach (111): Anschliff (o514)
Polierte Fläche nach (oo1): Anschliff (o513)

Von jedem Anschliff sind 1o Messungen vorgenommen worden.

Man konnte dadurch feststellen, daß sowohl die (111) - als auch die (oo1)-Reflexionswerte die gleiche Streuung aufweisen. Diese maximalen Werteschwankungen bleiben innerhalb der bereits auf Seite 31 in Tabelle 1o angegebenen Pyritstreuung. Es war nicht möglich, eine Wertedifferenz zwischen beiden Anschliffen festzustellen. Wenn eine solche Differenz überhaupt existiert, dann liegt sie in vorliegender Arbeit innerhalb des Meßfehlerbereiches.

Mit Zinkblende sind ebenfalls derartige Messungen vorgenommen worden. Es wurde ein gut kristallisiertes Exemplar aus "Rio Marina" ausgewählt, in dem die drei Formen: pos.Tetraeder, neg.Tetraeder und Würfel miteinander in Kombination auftreten. Parallel zu jeder dieser kristallographischen Flächen ist ein Anschliff präpariert worden:

Anschliff (o521) pos. Tetraeder
Anschliff (o522) neg. Tetraeder
Anschliff (o523) Würfel

Sondermessumgen an zwei Zinkblendeanschliffen aus den Vorkommen von Picos de Europa sind ebenfalls durchgeführt worden. Es handelt sich um folgende Anschliffe:

(o252) ----- nach (11o) orientiert
(o253) ----- nach (oo1) orientiert

Wie bei Pyrit ist auch hier keine meßbare Wertedifferenz in Bezug auf die kristallographische Orientierung gefunden worden. Die Sondermessungen der Anschliffe (o521), (o522), (o523) stimmen mit den bereits auf Seite 35 durchgeführten Messungen des Anschliffes (o521) überein. Die Sondermessungen der Anschliffe (o252) und (o253) stimmen ihrerseits mit den auf S.35 durchgeführten Messungen des Anschliffes (o252) überein.

Für Bleiglanz liegen ebenfalls solche Ergebnisse vor. Messungen der Schliff-Flächen //(1oo) und //(111) im Bleiglanzanschliff (o531) aus der Grube Bleischarley zeigen keinen Werteunterschied bezüglich der kristallographischen Orientierung (s.Tab.21, S.37)

Es zeigt sich also, sollte eine gewisse Abhängigkeit des Reflexionsvermögens isotroper Mineralien von der Schnittlage existieren, der Werteunterschied zu gering ist, um unter diesen Meßbedingungen gemessen werden zu können.

VI. ÜBER DEN EINFLUSS DER INNENREFLEXE VON ZINKBLENDE AUF IHR REFLEXIONSVERMÖGEN.

Zur Untersuchung des Einflusses von Innenreflexen auf das Reflexionsvermögen von Zinkblende wurden zwei Präparate betrachtet, in denen sich diese Reflexe sehr deutlich beobachten lassen.

Es sind die Anschliffe:

(o521) .... Zinkblende aus Rio Marina mit typischen roten bis etwa orangen Innenreflexen und

(PR-2H) .... Zinkblende aus Tsumeb mit grünen Innenreflexen.

Ziel der Untersuchung war die Beobachtung und Messung der möglichen Abweichung des R.V. von Zinkblende bezüglich ihrer Innenreflexe, und zwar bei unterschiedlichen Farben derselben.

Es wurden zuerst Schliffstellen ausgesucht, bei denen Innenreflexe nur unter gekreuzten Nicols sichtbar sind und dort das Reflexionsvermögen bei λ = 437, 486, 546, 589 und 656 nm gemessen. Dann wurde das Reflexionsvermögen von Schliffstellen mit so starken Innenreflexen, daß sie sogar bei parallelen Nicols sichtbar werden, gemessen. In beiden Fällen wurden die Reflexionsmessungen bei //-Nicols durchgeführt.

Als Referenzwerte für das Reflexionsvermögen dieses Minerals stehen die Ergebnisse von Kapitel IV (S.34-35) zur Verfügung.
Aus den Messungen an Schliffstellen, wo Innenreflexe nur unter gekreuzten Nicols sichtbar sind, ergaben sich Werte, die genau mit dem normalen Reflexionsvermögen von Zinkblende übereinstimmen.
Aus den Messungen an Schliffstellen, wo Innenreflexe so stark sind, daß sie sogar bei parallelen Nicols sichtbar werden, kam es im Vergleich zu den normalen Reflexionsvermögen zu völlig verschiedenen Werten.
Aus Abbildung 16 sieht man folgendes:
Bei roten unter //-Nicols sichtbaren Innenreflexen nimmt das normale Reflexionsvermögen der Zinkblende zu. Geht man im sichtbaren Spektrum von niedrigeren nach höheren Wellenlängen, dann weist die obere Kurve eine immer stärkere Abweichung von der normalen Reflexionsfunktion auf, so daß sie im roten Bereich ihren maximalen Wert erreicht. Zwischen 437 und 546 nm ist die obere Kurve ungefähr parallel zur normalen Reflexionsfunktion der Zinkblende. Bei λ = 589 nm, was in der Nähe des roten Spektralbereiches liegt, ergibt sich dagegen eine

wesentlich größere Abweichung der oberen Kurve. Ab diesem Bereich bis zum Rot addiert sich das rote Licht der Innenreflexe zum normalen an der Oberfläche reflektierten Licht.

Dies führt zu einer Richtungsveränderung der oberen Kurve. Die Wertestreuumg, dargestellt in den senkrechten Geraden, ist wesentlich grösser als bei den normalen Reflexionsmessungen (ohne Innenreflexe). Dies ist wegen der verschiedenen Orientierungen der Spaltrisse und der herausgebrochenen Erzteilchen unterhalb der polierten Fläche im Fall von Innenreflexen verständlich. Die Wertestreuung wird von λ = 437 bis 656 nm immer größer. Bei der größten Wertestreuung bei rotem Licht spielt zusätzlich die stärkere Ausschlagstreuung bei λ = 656 nm eine wichtige Rolle (S.26).

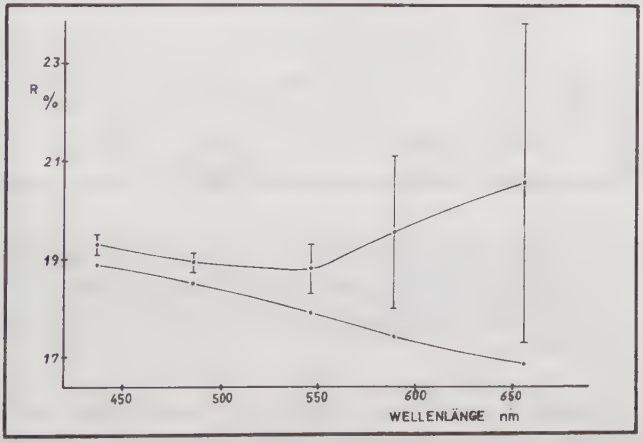


Abb.16 Die obere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei roten, sogar unter //-Nicols sichtbaren Innenreflexen. Die untere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei roten Innenreflexen, die nur unter gekreuzten Nicols sichtbar werden, und entspricht der normalen Zinkblende-Reflexionsfunktion (S. 35). Anschliff (o521).

Die Ergebnisse der Messungen am Anschliff (PR-2H) werden in der Abbildung 17 dargestellt.

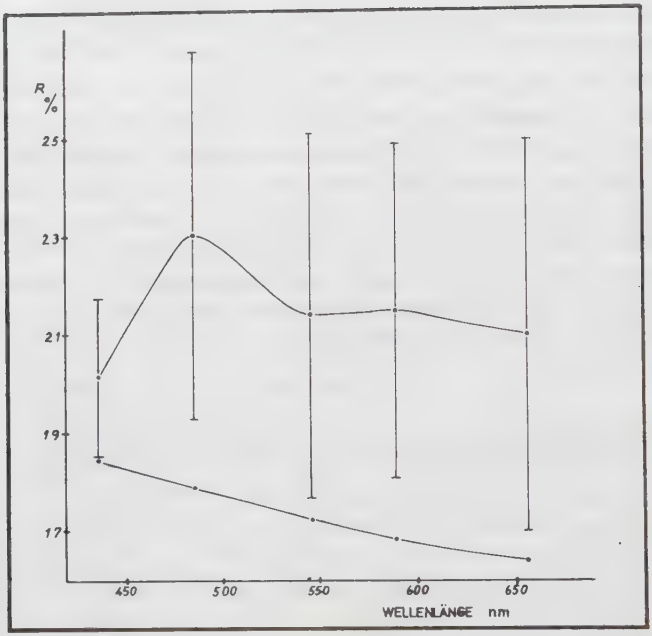


Abb.17 Die obere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei grünen, sogar unter //-Nicols sichtbaren Innenreflexen. Die untere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei grünen Innenreflexen, die nur unter gekreuzten Nicols sichtbar werden und entspricht der normalen Zinkblende-Reflexionsfunktion (S.34). Anschliff (PR-2H).

Wie bei Anschliff (o521) hat man hier, aus den Messungen bei denen Innenreflexe nur unter gekreuzten Nicols sichtbar sind, Werte erhalten, die vollkommen mit denen auf S.34 übereinstimmen.

Aus der Abbildung 17 sieht man folgendes:
Bei grünen unter //-Nicols sichtbaren Innenreflexen nimmt das normale Reflexionsvermögen der Zinkblende zu. Es ergibt sich eine progressive Abweichung der oberen Kurve im Verhältnis zur normalen Reflexionsfunktion, aber im Gegensatz zur Zinkblende (o521) wird diesmal der maximale Reflexionswert für den grünen Bereich erreicht. Beide Kurven der Abbildung 17 haben wegen der grünen Farbe der Innenreflexe schon zwischen 437 und 486 nm verschiedene Richtungen. Der maximale Wert der oberen Kurve wird bei λ = 486 nm erreicht. Die ist aber eine

Wellenlänge, die noch nicht ganz zum grünen Spektralbereich gehört. Es ist aber möglich, daß man innerhalb des Bereiches 486-546 nm, wo keine Reflexionsmessungen durchgeführt wurden, noch einen höheren Reflexionswert bekommen könnte. Auf jeden Fall erhält man schon bei λ = 546 nm einen verhältnismäßig niedrigeren Reflexionswert. Die Wertestreuung wird ebenfalls bei λ = 486 nm am größten.

Aus diesen Messungen geht hervor, daß bei Zinkblenden, die starke Innenreflexe zeigen, welche sogar unter //-Nicols sichtbar sind, der Wert des reflektierten Lichtes größer ist, als das normale Reflexionsvermögen des Minerals.

Die Abweichung vom normalen Reflexionsvermögen erreicht ihr Maximum bei dem monochromatischen Licht, dessen Farbe der der Innenreflexe entspricht. Bei weißen Innenreflexen erhält man für den ganzen Spektralbereich eine gleichwertige Addition des weißen Lichtes der Innenreflexe zu dem normalen reflektierten Licht (Abb. 17a).

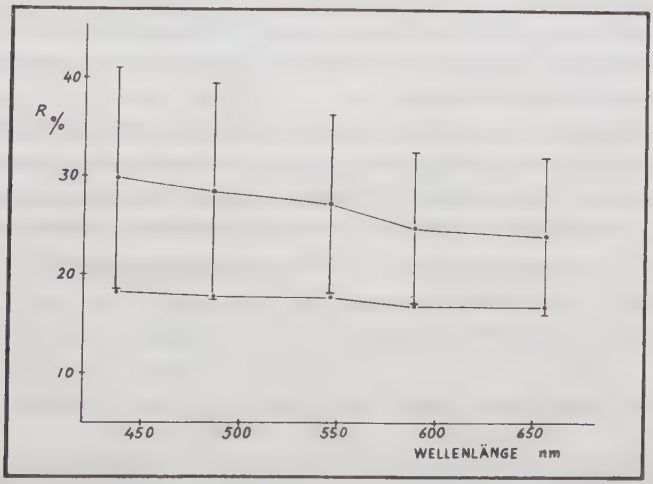


Abb. 17a Die obere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei weißen, sogar unter parallelen Nicols sichtbaren Innenreflexen. Die untere Kurve zeigt das Reflexionsvermögen bei weißen Innenreflexen, die nur unter gekreuzten Nicols sichtbar werden, und entspricht der normalen Zinkblende-Reflexionsfunktion. Anschliff PR-62A. (Maubach/Rheinland)

VII. SONDERMESSUNGEN ZUR ERMITTLUNG EINES ETWAIGEN EINFLUSSES VERSCHIEDENER POLIERMETHODEN AUF DAS REFLEXIONSVERMÖGEN.

Die gesägten Erzstücke wurden in Bakelit-Ringträger montiert, und alle in gleicher Weise vorgeschliffen. Als Einbettungsmittel diente das Kunstharz ARALDIT "E" (CY-232) zusammen mit dem Härter (HY-938).

Vorschleifverfahren: Zur Erzielung einer ebenen Fläche der Erzproben wurde eine horizontal rotierende und mit Wasser angefeuchtete Diamantscheibe (entspricht ungefähr der Körnung Nr.600 von SiC) verwendet. Dann: 2 bis 5 Minuten-Vorschleifen mit der Hand auf einer stehenden Glasplatte mit Karborundum Nr.800 und Wasser. Nachher: 5 bis 15 Minuten-Vorschleifen mit der Hand auf einer weiteren stehenden Glasplatte mit Borkarbid Nr.1000 und Wasser.

Nach dem Vorschleifen wurden drei verschiedene Mehtoden zur Anfertigung der Anschliffe angewandt:

Erste Methode: Das Schleifen erfolgte auf einer Rehwald Maschine (Maschinenfabrik H.DEPIEREUX, Düren). Schleifmittel: Borkarbid Nr.1200 und Paraffinöl. Poliermittel: Korund in Anthracenöl plus Magnesia usta in Paraffinöl gelöst.

Zweite Methode: Schleifen auf der Rehwald Maschine. Schleifmittel: Borkarbid Nr.1200 und Paraffinöl. Polieren auf der Rehwald Maschine. Poliermittel: Diamantpulver verschiedener Korngrößen und Magnesia usta. Jeder Korngröße stand eine bestimmte Scheibe zur Verfügung.

Körnung	Scheibenbezeichnung
10 - 15 µ	L_9
5 - 10 µ	L_4
0,01 - 1 µ	L_1

Für die richtige Feuchtigkeit des Poliermittels wurde Paraffinöl verwendet.

Dritte Methode: Schleifen und Polieren wurden mit der Hand vorgenommen. Schleif- und Poliermittel: Diamantpaste "Winter Diaplast" der Firma Ernst Winter und Sohn, Hamburg. Korngröße der Diamantpasten: 15, 7, 3, 1 und 0,25 µ. Für jede Körnung stand eine entsprechende Unterlage zur Verfügung (Winterpellon Discs). Auf diesen stehenden Discs wurde die Diamantpaste zusammen mit einem Tropfen destillierten Wassers aufgetragen. Zur Kontrolle der richtigen Feuchtigkeit des Mittels wurde Wasser und Diaplastol verwendet.

Die Reflexionsmessungen ergaben folgendes:
Unter Verwendung der ersten Poliermethode wurden gleichzeitig die Anschliffe: Pyrit (o514), Magnetkies (o5o8), Kupferkies (o511), Bleiglanz (o531), Zinkblende (o521) und Dyskrasit (o639) poliert. Nach dreistündigem Schleifen und sechsstündigem Polieren war zu beobachten, daß der Politurzustand für jeden Anschliff verschieden war. Reihenfolge:

Politurzustand	Mineral	Bezeichnung
sehr gut	Pyrit	(o514)
	Magnetkies	(o5o8)
	Zinkblende	(o521)
nicht so gut	Kupferkies	(o511)
schlecht	Bleiglanz	(o531)
	Dyskrasit	(o639)

Zwischen Pyrit, Magnetkies und Zinkblende war kein Unterschied in der Politur zu erkennen. Bei Kupferkies hat man eigentlich keine gute Politur erzielt; nur auf isolierten Stellen der Schliff-Fläche war sie etwas besser. Bei Dyskrasit und Bleiglanz konnte man unter dem Mikroskop zahlreiche und feine sich durchkreuzende Kratzer beobachten.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Schleifhärte dieser Mineralien in der angegebenen Pfeilrichtung abnimmt, d.h. man hat nur für die verhältnismäßig harten Mineralien eine sehr gute Politur erhalten.

Unmittelbar nach dem Abwaschen und Trocknen dieser Anschliffe wurde ihr Reflexionsvermögen für $\lambda = 546$ nm gemessen. Die durch mehrere Messungen erhaltenen Mittelwerte sind:

Mineral	R. V. %
Pyrit (o514)	54,55 ± o,3o
Magnetkies (o5o8)	38,3o ± 2,3o
Zinkblende (o521)	17,9o ± o,1o
Kupferkies (o511)	43,1o ± o,5o
Bleiglanz (o531)	4o,35 ± o,75
Dyskrasit (o639)	57,35 ± 2,oo

Tabelle 38 Reflexionsmessungen nach gleichzeitigem Polieren auf derselben Polierscheibe.
Erste Poliermethode.

Mit den Reflexionsvermögenswerten des Kapitels IV als Referenz (Messungen bei einer sehr guten Politur) sieht man, daß sowohl Pyrit (o514), als auch Magnetkies (o5o8) und Zinkblende (o521) richtige Reflexionswerte ergeben haben. Bei Bleiglanz (o531) und Dyskrasit (o639) wurden dagegen völlig verschiedene Reflexionswerte erhalten: 3 % absolut niedriger bei Bleiglanz (o531) und 6 % absolut niedriger bei Dyskrasit (o639). Es ist also zu betonen, daß obwohl diese als "nicht so gut" oder "schlecht" bezeichnete Politur für die normale erzmikroskopische Beobachtung und Erkennung dieser Mineralien genügt, sie für die Messung des Reflexionsvermögens durchaus nicht geeignet ist.

Wegen der schlechten Politur der drei weicheren Mineralien wurden diese später noch 2o Minuten weiterpoliert. Unmittelbar nach dem Abwaschen und Trocknen wurde ihr R.V. gemessen.

Politurzustand	Mineral	R. V. %
Sehr gut	Kupferkies (o511)	47,oo ± 1,oo
	Bleiglanz (o531)	43,45 ± o,o5
Nicht ganz gut	Dyskrasit (o639)	6o,3o ± 1,9o

Tabelle 39 Weitere Kontrollmessungen des Reflexionsvermögens der weicheren Mineralien.
Erste Poliermethode.

Mit den Werten von Kap.IV als Vergleich sieht man, daß jetzt sowohl Kupferkies als auch Bleiglanz die richtigen Werte ihrer Reflexionsvermögen erreicht haben. Die Tatsache, daß nur Dyskrasit- das weichste Mineral dieser drei und eines der überhaupt weichsten - keine gute Politur erreichte, spricht wieder für dasselbe Phänomen.

Es liegt also nahe, daß der Grund für diese Unvollkommenheit der Dyskrasitpolitur auf die Anwesenheit von Kupferkies (o511) auf derselben Polierscheibe zurückzuführen ist.

Da die Schleifhärte der hier untersuchten Erzmineralien sich fast über die ganze Schleifhärtenskala der wichtigsten Erzmineralien erstreckt, könnte man als Folgerung annehmen, daß unter Verwendung der ersten Poliermethode alle Erzmineralien sich gut polieren lassen. Dazu ist aber notwendig, daß die weichen Mineralien getrennt von den harten poliert werden. Als möglicher Grund für dieses Phänomen wird

hier an sehr kleine, aus den härteren Mineralien abgerissene Schliffstückchen gedacht, welche entweder die bereits gutpolierten Stellen der weicheren Mineralien verderben, oder überhaupt jede Politur verhindern. - Da nur beim Zusammensein von weichen und harten Mineralien keine ausgezeichnete Politur zu erhalten ist, kann der Grund hierfür nicht an Verunreinigungen des Poliermittels oder Unsauberkeiten auf der Polierscheibe liegen.
In einem Anhang am Ende dieses Kapitels werden verschiedene Beispiele für dieses Phänomen angegeben.

Unter Verwendung der zweiten Poliermethode wurden die Anschliffe: Pyrit (o527), Bleiglanz (o52o) und Zinkblende (o522) betrachtet.

Das Polierverfahren ist wie folgt verlaufen:
Nach einer Stunde auf der Scheibe L_9 (1o-15 µ) konnte man sehen, daß selbst der Pyrit (o527) - das härteste der drei Mineralien - zahlreiche sich kreuzende Rillen aufwies. Ein halbstündiges Weiterpolieren mit Kontrollen alle 1o Min. hat nachgewiesen, daß solche Rillen nicht mit derselben Scheibe zu entfernen waren.

Die Politurqualität der Zinkblende (o522) und des Pyrits (o527) waren ungefähr gleich. Bleiglanz (o52o) - das weichste der drei Mineralien - war wesentlich stärker verkratzt.

Beobachtung nach einer Stunde auf der nächsten Scheibe L_4:
Pyrit- und Zinkblendepolitur waren wesentlich besser als zuvor. Bleiglanz wies aber immer noch zahlreiche Kratzer auf.

Beobachtung nach einer Stunde Politur mit der feinsten Körnung, Scheibe L_1:
Alle drei Mineralien waren wesentlich besser poliert und der Politurunterschied zwischen ihnen war kleiner geworden. Außer vereinzelten, sehr gut polierten Stellen von Zinkblende, zeigte keines der drei Mineralien eine gute Politur.

Die Schliff-Flächen von Pyrit, Zinkblende und Bleiglanz haben im allgemeinen am Ende des Polierverfahrens einen ganz dünnen und feinen netzartigen Schleier von Pünktchen und einzelnen feinen Rillen aufgewiesen, die sich über die ganze Fläche verteilen.

Bei dieser Poliermethode haben sogar die härteren Mineralien - im Gegensatz zu den Ergebnissen der ersten Poliermethode - keine gute Politur aufgewiesen.

Mineral	Gemessener Reflexionswert in % (λ = 546 nm)	Differenz zum richtigen R.V. (Kapitel IV)
Pyrit (o527)	52,55 ± o,75	2,o5 % absolut niedriger als Pyrit - bester Wert, S.33
Bleiglanz (o52o)	42,9o ± o,4o	o,5o % absolut niedriger als der Mittelwert von (o531), S.37
Zinkblende (o522)	17,9o ± o,1o (an sehr gut polierten Stellen)	o,oo % selber Wert als (o521) S.35 Beide Erzproben stammen aus Rio Marina.

Tabelle 4o. Reflexionsmessungen an den bestpolierten Stellen. Zweite Poliermethode.

Als Folgerung ergibt sich:
Unter Verwendung der zweiten Poliermethode ist es wohl möglich, stellenweise sehr gut polierte Schliff-Flächen zu erhalten, an denen das Reflexionsvermögen des Minerals seinen richtigen Wert zeigt (z.B. Zinkblende). Wenn man aber berücksichtigt, daß es in der Praxis vielleicht notwendig ist, daß Reflexionsvermögen gerade an einer Stelle der Schliff-Fläche, deren Politur nicht so gut ist, zu messen - z.B. bei sehr geringem Auftreten des betrachteten Minerals im Anschliff (wenige, vereinzelte kleine Körnchen) - dann sieht man die Schwierigkeiten dieser Methode. Obwohl der Politurverbesserung der drei Mineralien besondere Aufmerksamkeit beigemessen wurde, hat man trotzdem nur die bereits beschriebenen Politurqualitäten erhalten.

In Anbetracht einer solchen unsicheren und zeitraubenden Anfertigung einer guten Politur (mehrere Politurkontrollen bei den verschiedenen Scheiben) kann man sagen, daß die Verwendung dieser zweiten Poliermethode für Reflexionsvermögensmessungen nicht empfehlenswert ist.

Die Anschliffe: Pyrit (o528), Bleiglanz (o518) und Zinkblende (o523) wurden unter Verwendung der dirtten Poliermethode betrachtet.

Polierverfahren: Jede Probe wurde grundsätzlich 5 Minuten mit jeder der Körnungen: 15, 7, 3, 1 und o,25 μ auf dem entsprechenden Winterpellon Disc poliert. Bei jeder Körnung wurden die Präparate nach den ersten 5 Minuten so lange weiterbehandelt (noch 5 oder 1o Min. je nach dem) bis in der Politur keine Änderung mehr zu verzeichnen war.

Der Arbeitsgang jeder Körnung wurde mit dem Mikroskop kontrolliert. Am Ende des Polierverfahrens konnte man bei den drei Anschliffen das Vorhandensein allerfeinster Kratzer feststellen, die die Schliff-Fläche wie ein Schleier bedecken. Die Bleigalnzpolitur war beträchtlich schlechter als die von Zinkblende und Pyrit. Das härteste Mineral - Pyrit - wies die verhältnismäßig beste Politur auf mit einigen fast einwandfrei polierten Stellen, bei denen ganz feine Kratzer unter dem Mikroskop kaum zu bemerken waren. Die Reflexionsmessungen wurden an den bestpolierten Stellen durchgeführt.

Mineral	Gemessener Reflexionswert in % (λ = 546 nm)	Differenz zum richtigen R.V. (Kapitel IV)
Pyrit (o528)	51,7o $\pm$ o,5o	2,9 % absolut niedriger als Pyrit - bester Wert, S.33
Bleiglanz (o518)	41,5o $\pm$ o,2o	1,9 % absolut niedriger als der Mittelwert von (o531), S. 37
Zinkblende (o523)	17,65 $\pm$ o,15	absolut niedriger als der Mittelwert von (o521), S. 35

Tabelle 41 Reflexionsmessungen an den bestpolierten Stellen. Dritte Poliermethode.

Aus den Reflexiomswerten sieht man, daß die Politurqualität dieser Anschliffe durchaus nicht hinreichend ist, um dort das Reflexionsvermögen zu messen.
Werden die Politurqualitäten und die R.V. von Zinkblende und Pyrit verglichen, dann läßt sich daraus folgendes schließen:

Je größer das R.V. ist, desto wichtiger wird die Erzielung einer guten Politur um das R.V. richtig zu messen.

Beim Vergleich zwischen Pyrit und Bleiglanz ergibt sich dasselbe. Dies ist auch bei dem Ergebnis der zweiten Poliermethode zu sehen. (Vergl. zischen Pyrit -o527- und Bleiglanz -o52o-).

Für die Verwendbarkeit dieser dritten Poliermethode bei Erzmineralien, deren Reflexionsvermögen zu messen ist, gilt dasselbe wie für die zweite Poliermethode.
Nach diesen Sondermessungen zur Ermittlung des Einflusses der verschiedenen Poliermethoden auf das Reflexionsvermögen der untersuchten Minera-

lien sieht man, daß das Problem grundsätzlich darin besteht, eine ausgezeichnete Politur zu erhalten.

Die einwandfreie Politur der 6 betrachteten Mineralien wurde nur unter Verwendung der ersten Poliermethode (Al_2O_3 + MgO) erzielt.

Durch diese Sondermessungen wurde nachgewiesen, daß selbst bei einer minimalen Abweichung von der einwandfreien Politur eine Rückwirkung auf die Intensität des reflektierten Lichtes zustande kommt, so daß dieser Lichtanteil nicht mehr die genaue Bestimmung des Reflexionsvermögens ermöglicht. In einem solchen Fall ergibt sich ein niedrigerer Reflexionswert, der nur einen bestimmten unvollendeten Polierzustand charakterisiert.
Der Reflexionswert von Zinkblende auf vereinzelten sehr gut mit Diamantmethoden polierten Stellen entspricht dem Reflexionsvermögen des Minerals. Erreicht man also - unabhängig von der Poliermethode - eine perfekte Politur, so entsteht derselbe Reflexionswert (Es handelt sich dabei eigentlich um einen Mittelwert, der wegen der bereits auf S.24 genannten Faktoren zwischen bestimmten Grenzen variiert).
Da mit verschiedenen Poliermethoden nicht immer die gleichen Meßergebnisse zu bekommen sind, wird zur Zeit über dieses Problem noch weiter geforscht. In dieser Hinsicht, sei folgendes erwähnt:
(Aus der am 3. September 1966 in Cambridge stattgefundenen Sitzung der Commission on Ore Microscopy - IMA)

"Polishing Methods

The Chairman said that as a result of a suggestion made by Professor Cameron, sections of three minerals had been polished in four different laboratories. The reflectivity of these sections had been measured by the secretary at Cambridge on the same equipment. It was shown that, whereas similar values were obtained for magnetite and galena, widely different values were shown by chalcopyrite depending on whether a mechanical or chemical-mechanical method of polishing had been used. Values for mechanically polished sections were in the region of 41-44percent, whereas for chemically treated surfaces these rose to 48-5o percent.

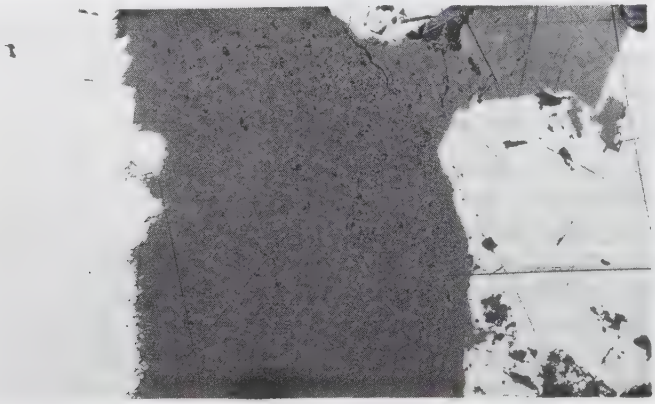
This phenomenon was discussed, and it was agreed that the Secretary and Prof.Cameron should investigate some 15-2o of the more reactive minerals to see whether the method of polishing had to be difined. It was also agreed that a special talk on the subject of polishing might be included in the meeting to be held in Prague in 1968"
(in BOWIE, 1967 S.28o)

Bei den Diamantmethoden wurden in der Regel Polierqualitäten erzielt, die durchaus die gewöhnliche diagnostische Beobachtungen der Erzmikroskopie ermöglichen.
Die vereinzelt sehr gut polierten Stellen von Zinkblende und die "fast" gute Politur von Pyrit lassen annehmen, daß die Erzielung einer allgemeinen guten Politur dieser Mineralien mit Diamant möglich ist. Wenn man aber das R.V. eines Minerals messen will, dann sind diese Poliermethoden nicht empfehlenswert. Der Grund dafür liegt in der Wahrscheinlichkeit, daß gerade die Meßstelle nicht ganz gut poliert ist.

Sehr wichtig bei diesen Methoden ist die Kontrolle der Feuchtigkeit des Poliermittels während des Arbeitsganges und die richtige Anfertigungsdauer bei den verschiedenen Körnungen. Auf diese zwei Faktoren wurde sorgfältig geachtet, aber dazu muß man sagen, daß bei jedem Fall die Wahrscheinlichkeit einer guten Politur anders ist, je nach der Mitwirkung der genannten Faktoren. Bei einem so weichen Mineral wie Bleiglanz z.B., konnte man sehen, daß mit Diamant keine gute Politur zu erhalten ist.

Anhang zu Kapitel VII

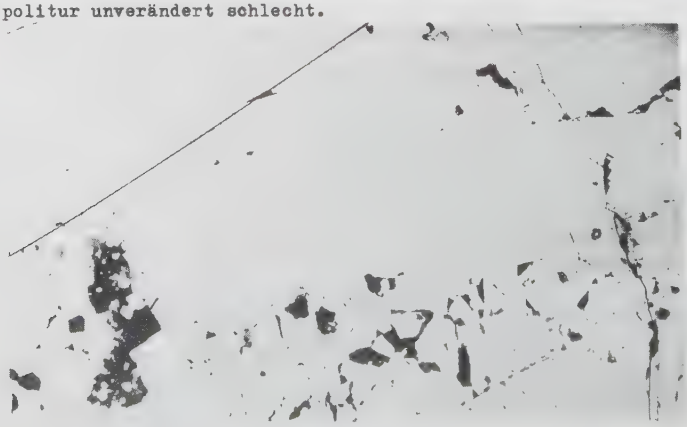
Anschließend werden verschiedene Beispiele im Bild gezeigt, bei denen unter Verwendung der ersten Poliermethode bei Zusammenvorkommen von weichen und harten Mineralien keine gute Politur erzielt wurde.



Vergr.64 x,//-Nicols

Abb.18 Von rechts nach links: Bleiglanz, Zinkblende und Markasit. Anschliff (o61o). Grube Bleischarley/Oberschlesien.

Polierergebnis: Nach sechsstündiger Politur war der Markasit sehr gut poliert. Bleiglanz wies zahlreiche Kratzer auf. Nach einer Stunde Weiterpolieren mit mehreren Kontrollen (alle 1o bis 15 Min.) war die Bleiglanzpolitur unverändert schlecht.



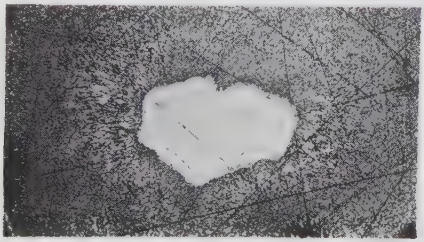
Vergr.128 x,//-Nicols

Abb.19 Oben: Bleiglanz. Unten: Kupferkies und Pyrit, Anschliff (PR-28A). Grube Terlan/Süd Tirol.

Polierergebnis: Pyrit, Zinkblende und Kupferkies zeigten eine sehr gute Politur. Bleiglanz, der im Anschliff reichlich vorhanden ist, wies aber nur selten ziemlich gut polierte Stellen auf, wo das R.V. gemessen wurde. Die verhältnismäßig niedrigen Werte weisen die Unvollkommenheit der Politur nach. (Als Referenzwerte s. S.37)

λ nm	PbS - R.V. %
437	47,8o ± o,3o
486	44,8o ± o,5o
546	42,35 ± o,35
589	41,85 ± o,35
656	41,7o ± o,5o

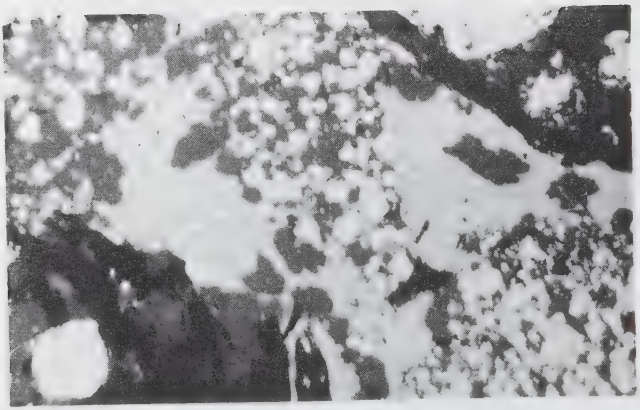
Tabelle 42 Reflexionswerte von Bleiglanz (PR-28A)
(Nicht gut polierte Stellen)



Vergr.64 x,//-Nicols

Abb.2o Im Zentrum ein schlecht polierter Dyskrasit.
Anschliff (PR-15E). St.Andreasberg/Harz.

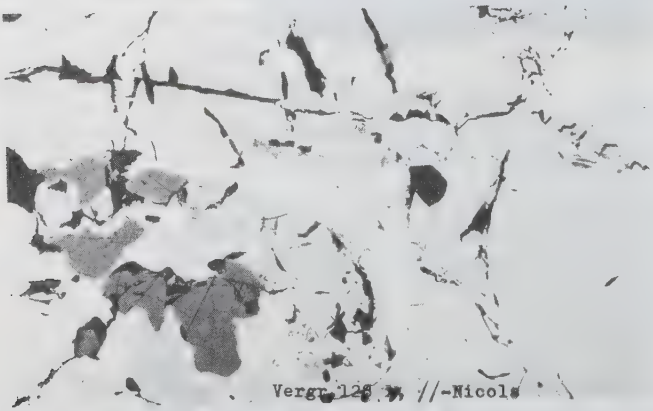
Polierergebnis: Dyskrasit war schlecht poliert, was auf das Zusammenvorkommen mit härteren Mineralien, vor allem Safflorit, Zinkblende und Gangart im gleichen Anschliff zurückzuführen ist.



Vergr.640 x, //-Nicols

Abb.21 Zeigt die schlechte Politur von Bleiglanz. Anschliff (PR-25E). Mina de Louzal/Portugal

Polierergebnis: Bleiglanz, das weichste Mineral im Anschliff war schlecht poliert. Er tritt in verhältnismäßig sehr kleinen Einschlüssen in der Zinkblende auf.



Vergr. 128 x, //-Nicols

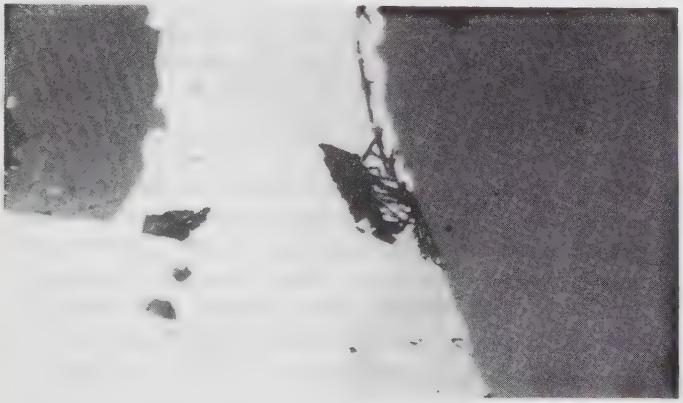
Abb.22 Oben: Magnetkies. Links: etwas Zinkblende. Rechts: Kupferkies. Anschliff (PR-27A) Outokumpu/Finnland

Polierergebnis: Kupferkies war schlecht poliert. Alle anderen Mineralien im Anschliff sind härter, ausgenommen Valeriit, der ungefähr dieselbe Härte besitzt.

Dazu wurde das R.V. vom Kupferkies für λ = 546 nm gemessen.

R_1 = 43,4o ± o,4o

R_2 = 41,8o ± o,3o (Als Referenzwerte s. S.47)



Vergr. 64o, //-Nicols

Abb.23 Im Zentrum ist Kupferkies mit einigen Pyrit-Körnern. Auf beiden Seiten Zinkblende. Anschliff (PR-3M). Grube Bayerland/Oberpfalz.

Polierergebnis: Die Kupferkeispolitur ist wesentlich besser als bei Anschliff (PR-27A), aber trotzdem nicht ganz gut. Härtere anwesende Mineralien als Kupferkies: alle anderen.

Dazu wurde das R.V. von diesem Kupferkies für λ = 546 nm gemessen.

R_1 = 47,oo ± 1,4o

R_2 = 45,8o ± 1,2o

	Bester Wert (aus Kap.IV,S.) Politur: sehr gut	(PR-3M) Politur: nicht ganz gut	(PR-27A) Politur: schlecht
R_1	47,6o ± 1,2o	47,oo ± 1,4o	43,4o ± o,4o
R_2	45,9o ± 2,1o	45,8o ± 1,2o	41,8o ± o,3o

Tabelle 43 Reflexionswerte-Vergleich bei Kupferkies.

Noch zwei Bemerkungen, die sich auf das Polierverfahren beziehen, seien hier angefügt. Es sind:

Die Widerstandsfähigkeit der Politur sehr weicher Mineralien auf die Dauer, und

die Deformationen des Einbettungsmittels (Kunstharz)

Bezüglich der Widerstandsfähigkeit der Politur wurde sowohl bei Bleiglanz als auch bei Dyskrasit eine beträchtliche Politurverschlechterung wegen des wiederholten Abwaschens und Trocknens der Präparate festgestellt. Alle Reflexionsmessungen wurden in vorliegender Arbeit an vollkommen frisch polierten Anschliffen durchgeführt und nach der Bestimmung des Reflexionsvermögens mehrere Kontrollen desselben an den darauffolgenden Tagen vorgenommen. Dadurch konnte man beobachten, daß nur diese zwei weichsten Mineralien solche Politurverschlechterung aufgewiesen haben, was sofort zu einer Abnahme des Reflexionsvermögens führte. Es waren ganz feine und zahlreiche Rillen, die die Schliff-Fläche bedecken. In dieser Hinsicht haben sich beim Trocknen der Bleiglanz und Dyskrasitpräparate die "Kleenex-Tücher" als bestes Mittel bewiesen.

Bezüglich der Deformationen des Einbettungsmittels wurden solche nicht nur bei den Anschliffen, die schon seit längerer Zeit eingebettet waren (Anschliffe der Institutssammlung)festgestellt, sondern auch bei neuen Präparaten, die erst ungefähr vier Wochen alt waren.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die untengenannten Ergebnisse der Arbeit sind nicht der Wichtigkeit nach aufgeführt, sondern es wurde in etwa die Reihenfolge der Kapitel eingehalten.

1. Je größer das Reflexionsvermögen des zu messenden Objektes, desto grösser wird der Meßfehler infolge einer Beleuchtungsdezentrierung (Leuchtfeldblende nicht genau eingestellt).

2. Um den Meßfehler soweit wie möglich zu reduzieren, ist der richtige Anzeigewert des Reflexionsstandards und die perfekte Horizontierung der Anschliff-Fläche unmittelbar vor der Reflexionsmessung zu kontrollieren.

3. Der Anzeigefehler innerhalb einer Tischumdrehung von 360° steigt nicht über o,2 Absolutprozent als maximale Abweichung von dem gemessenen Mittelwert.

4. Reflexionsvermögensmessungen an verschiedenen Tagen und auf denselben Meßstellen haben nachgewiesen, daß die erhaltenen Mittelwerte bei einer bestimmten Wellenlänge höchstens um o,35 Absolutprozent differieren. Dies ist bei den zwei benützten Mikroskop-Photometern grundsätzlich gleich.

5. Vergleichsmessungen des Reflexionsvermögens mit den zwei Instrumenten:
   LEITZ-Mikroskop-Photometer MPV, Typ MFLK, BN 5oo1 T und
   ZEISS-Mikroskop-Photometer MPM
   haben gezeigt, daß es mit dem Ansteigen des Reflexionsvermögens eines Minerals (je nach der Wellenlänge), zu einer relativen Zunahme des Zeiss-Anzeigewerts im Vergleich zum Leitz-Anzeigewert kommt. Bei 92 % der Vergleichsmessungen ist dieser Werteunterschied zwischen beiden Instrumenten nicht größer als 1,5 Relativprozent, d.h. er bleibt innerhalb des Reproduzierbarkeitsfehlers der Anzeigewerte. Der Werteunterschied zwischen beiden Instrumenten erreicht sein Maximum im blauen Bereich des Spektrums, d.h. dort, wo beide Photovervielfacher ihre maximale Empfindlichkeit erreichen. Bei λ = 546 nm -die Standardwellenlänge- wird der Werteunterschied minimal.

6. Der gesamte Fehler in der Reproduzierbarkeit der Anzeigewerte für das Reflexionsvermögen lag bei rund o,5 bis 1,5 Relativprozent. Wegen der größeren Streuung der Meßanzeige bei dem roten Ende des Spektrums, beträgt dieser Fehler bei λ = 656 nm bis rund 2 Relativprozent.

7. Man kann das Reflexionsvermögen von Pyrit selbst dann richtig bestimmen, wenn der Rand eines Zinkblende-Nachbarkorns schwach mitbeleuchtet wird. Dies ermöglicht also in diesem Fall die Messung des Reflexionsvermögens eines Pyritkörnchens, das etwas kleiner als die beleuchtete Fläche (durch die Leuchtfeldblende bestimmt) sein kann. Obwohl man aus diesem Beispiel von Pyrit-Zinkblende keine Verallgemeinerung für andere Mineralien ableiten kann, läßt es sich wegen des großen Reflexionsvermögensunterschieds zwischen diesen beiden Mineralien (in der Größenordnung von 36,5 Absolutprozent für λ = 546 nm) denken, daß man mit einer gewissen Toleranz der Größe der beleuchteten Fläche des zu messenden Minerals rechnen kann.

8. Bei Messungen an Zinkblenden, die Kupferkies-Entmischungen aufweisen, wurde festgestellt:
Wenn die gesamte Oberfläche der entmischten Kupferkies-Körnchen in Zinkblende bis ungefähr 2% der ganzen gemessenen Fläche (durch die Meßblende bestimmt) beträgt, dann wurden Reflexionsvermögenswerte erhalten, die in 90% der Fälle keine Abweichung vom normalen Reflexionsvermögen der Zinkblende zeigen. Bei Schliffstellen, wo die Kupferkies-Körnchen eine gesamte Oberfläche von 6% der ganzen gemessenen Fläche betragen, wurden aber Reflexionswerte erhalten, die rund 1,1 Absolutprozent höher als das normale Reflexionsvermögen von Zinkblende sind.

9. Bei Zinkblende hat sich kein einzelnes Meßergebnis als "bester Wert" für ihr Reflexionsvermögen ergeben. Es wurden dagegen -je nach dem Eisen-Gehalt- verschiedene Reflexionsvermögenswerte erhalten. Je niedriger der Fe-Gehalt der Zinkblende wird, um so niedriger wird ihr Reflexionsvermögen.

10. Der gefundene Reflexionsvermögensunterschied zwischen den untersuchten Bleiglanzanschliffen wird auf unterschiedliche Spurenelementgehalte zurückgeführt. Da der Unterschied im Kupfergehalt mit Abstand der größte ist, kann er als der Hauptgrund für diesen Reflexionsvermögensunterschied angenommen werden. Der Einfluß dieses Fremdelementgehaltes wird am blauen Ende des Spektrums (d.h. in dem spektralen Bereich, wo das Reflexionsvermögen des Bleiglanzes am größten ist)auf das Reflexionsvermögen spürbarer.

11. Da die Anisotropie der Dyskrasit schwach ist, läßt sich daran denken,daß bei dem gefundenen Reflexionsvermögensunterschied zwischen zwei Anschliffen dieses Minerals aus St.Andreasberg/Harz ein gewisser Unterschied im Farbton zwischeneinander auch eine Rolle spielt.

12. Falls eine gewisse Abhängigkeit des Reflexionsvermögens isotroper Mineralien von der Schnittlage existiert, ist der Werteunterschied zu gering, um unter den Meßbedingungen der vorliegenden Arbeit gemessen werden zu können.

13. Aus der Untersuchung des Einflusses von Innenreflexen auf das Reflexionsvermögen von Zinkblende, geht hervor:
Bei Zinkblenden, die so starke Innenreflexe zeigen, daß sie schon bei //-Nicols sichtbar sind, ist der Wert des reflektierten Lichtes größer als das normale Reflexionsvermögen des Minerals. Diese Abweichung vom normalen Reflexionsvermögen erreicht ihr Maximum bei dem monochromatischen Licht, dessen Farbe der der Innenreflexe entspricht.

14. Bei dem drei Poliermethoden, die in vorliegender Arbeit zur Anwendung kamen, wurde nur bei der ersten (Polieren auf einer Rehwald Maschine, Poliermittel: Korund in Anthracenöl plus Magnesia usta in Paraffinöl gelöst) eine einwandfreie Politur der sechs untersuchten Mineralien erzielt.
Da die Schleifhärte dieser Erzmineralien sich fast über die ganze Schleifhärtenskala der wichtigsten Erzmineralien erstreckt, könnte man als Folgerung annehmen, daß sich unter Verwendung dieser Poliermethode alle Erzmineralien gut polieren lassen.

15. Bei den Diamantmethoden (hier als zweite und dritte Poliermethode bezeichnet), wurden nur vereinzelt sehr gut polierte Stellen der Schliff-Flächen erzielt. Diese ergaben dieselben Reflexionswerte. Das spricht dafür, daß bei einer perfekten Politur die Poliermethode keine Rolle spielt. - Obwohl die mit den Diamantmethoden erhaltenen Schliffqualitäten durchaus die geöhnliche diagnostischen Beobachtungen der Erzmikroskopie ermöglichen, sind diese Polierverfahren (für Reflexionsvermögensmessungen eines Minerals) nicht empfehlenswert.
Bei einem so weichen Mineral wie Bleiglanz wurden nicht einmal vereinzelt gut polierte Schliffstellen erzielt.

16. Reflexionsvermögensmessungen an Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende haben gezeigt, daß je größer das Reflexionsvermögen eines Minerals ist, desto wichtiger wird die Erzielung einer guten Politur um das Reflexionsvermögen richtig zu messen.

17. Es wurde festgestellt, daß wegen des wiederholten Abwaschens und Trocknens der zwei weichsten untersuchten Mineralien (Bleiglanz und Dyskrasit)eine fortschreitende Polituverschlechterung ihrer Oberflächen zustande kommt.

LITERATURVERZEICHNIS

BEREK,M.,1922: Grundlagen für die Bestimmung der Mineralien auf Grund der optischen Erscheinungen, welche sie im senkrecht reflektierten gewöhnlichen und linear polarisierten Licht darbieten.- S.65-71. In SCHNEIDERHÖHN,H.,: Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten besonders im auffallenden Licht.-S.192. (Selbstverlag der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e.V., Berlin)

BOWIE,S.H.U.,1957: The photoelectric measurement of reflectivity. - Paper of the Atomic Energy Division, Geol.Survey of Great Britain. 476-486.

BOWIE,S.H.U.,1965: Minutes of Meeting of IMA-Commission on Ore Microscopy held in New Delhi.- Econ.Geol.60. 1326-1328.

BOWIE,S.H.U.,1967: Minutes of Meeting of IMA-Commission on Ore Micorscopy held in Cambridge August/September 1966.-Econ.Geol.62, 278-281. Summary of Progress of IMA-COM, 1964-66: p.281-282

BOWIE,S.H.U., and HENRY,N.F.M., 1964: Quantitative Measurements with the Reflecting Polarizing Microscope.-Bull.Inst.Mining and Metall.Trans., v.73, pt.7, 467-478.

BOWIE,S.H.U., and TAYLOR,K.A.,1958: A system of ore mineral identification.-Mining Magazine, 99, Nov., 265-277, Dec., 337-345.London.

BRADSHAW,P.M.D., PHILLIPS,R., and SMITH,R.A., 1966: A new Method for the absolute measurement of reflectivity.- Mineralogical Magazine, 35, 861-866. Dept.of Geology, Univ.of Durham.

CAMERON,E.N., 1961: Ore Microscopy.- New York and London (Wiley) pp.293.

CAMERON,E.N., 1965: Identification of Opaque Minerals.-(Discussion Econ. Geol.,60, 1331-1333)

CAPDECOMME,L., et ORCEL,J., 1941: Determination des propriétes optiques des cristaux opaques à l'aide du microscope métallographique polarisant.- Rev. d'Optique, 20, 47-114.

CISSARZ,A.,1931: Optische Messungen an Antimonglanz.-Neues Jahr.f.Min., A, 64, 137-162

CISSARZ,A, 1932: Reflexionsmessungen an absorbierenden Kristallen, mit besonderer Berücksichtigung der Erzmineralien.- III.Mitteilung: Untersuchungen über die Gewinnung einer zuverlässigen Eichung für Messungen des Reflexionsvermögens und über den Einfluß von Oberflächenschichten, die durch den Schleif- und Polierprozeß erzeugt werden.- Zeits.f.Krist.82, 438-450

DAHME,A., und MACKOWSKY,M.Th., 1950: Neues Meßverfahren zur Bestimmung des Reflexionsvermögens von Kohlen Brennstoff-Chemie, 31,129-138.

DEMIRSOY,S.,1967: Die Entwicklung des Mikroskop-Photometers mit besonerer Berücksichtigung der Reflexionsvermögen.- Sonderdruck aus Zeiss-Mitteilungen 4, 6.Heft, 254-279.

EHRENBERG,H.,1960: Die Auflichtmikroskopie S.1-186.-In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd.I, Teil 2, 699S., herausgegeben von FREUND,H.(Umschau Verlag) Frankfurt/Main.

FOLINSBEE,R.E.,1949: Determination of reflectivity of the ore minerals.- Econ.Geol., 44, 425-436.

FRICK,H.,1930: Reflexionsmessungen an Erz- und Metallanschliffen mit Hilfe eines Reflexions-Photometerokulars.-Neues Jahrb.f.Min., Beil.Bd.61, A,31-86

GEHLEN,K.v.,1960: Die röntgenographische und optische Gefügenanalyse von Erzen, insbesondere mit dem Zählrohr-Texturgoniometer.- Beitr.zur Min.Petr., 7, 340-388

GEHLEN,K.v. und PILLER,H., 1964: Zur Optik von Covellin.-Beitr.zur Min.Petr., 10, 94-110.
GEHLEN,K.v., and PILLER,H.,1965: Optics of hexagonal pyrrhotine(Fe_9S_{10}).- Mineralogical Magazine, 35, 335-346. London.
GLASSER,L.C.,1924: Metallographie im polarisierten Licht.- Zeits.f. techn.Physik, 5,253-260.
GRABER,M.E.,1925: The optical constants of Magnesium and Zinc Crystals.- Physical Review, 26, 380-389
GRAY,I.M. and MILLMAN,A.P.,1962: Reflection characteristics of ore minerals.- Econ.Geol.57, p.325-349
HALLIMOND,A.F.,1953: Manual of the Polarizing Micorscope.2nd.edn.(Cooke, Troughton & Ximms, Ltd.,) York.England.
HALLIMOND,A.F.,1957: Direct measurement of Standard reflectances with the microphotometer.-Mineralogical Magazine, 31, 487-494.
HALLIMOND,A.F.,1963: Polishing mineral specimens.-Mining Magazine, 108, 197-202.
KÖNIGSBERGER,J.,1931: Reflexion senkrecht zu Flächen optisch einachsiger und rhombischer, stark absorbierender Kristalle.-Neues Jahrb. f.Min., Beil.Bd.64 A, 107-121.
LANGE,B., und EITEL,W.,1931: Über eine Methode zur Untersuchung der Absorption mineralogisch-mikroskopischer Präparate mit Hilfe des Sperrschicht-Photozellen.-Tschermaks min.u.petrog.Mitteilungen, 41, 435-452.
LEOW,J.H.,1966: Reflectivity Measurements on Molybdenite.-Econ.Geol., 61, 598-612
MALMQVIST,D.,1937: Zur Optik des Arsenkieses im sichtbaren Spektrum. Vergleichende Messungen mit den Spaltmikrophotometer nach Berek in einem Doppelphotozellenmethode.-Bull.of the geol.Institution of Univ.Upsala, 26, 1-25.
MAUCHER,A., und REHWALD,G., 1961: Bildkartei der Erzmikroskopie.- Umschau Verlag, Frankfurt/Main
MOSES,J.H.,1936: The identification of opaque minerals by their reflecting power as measured photoelectrically.-Ph.D.Thesis, Harvard University.
NICHOL,I., and PHILLIPS,R.,1965: Measurements of spectral reflectivity of manganese oxides.- Mineralogical Maganzine, 35, 200-213
ORCEL,J.,1930: La mésure du pouvoir réflecteur de minéreaux opaques à l'aide de la cellule photoélectrique et ses aplications.- Bull. soc.franc.Min., 53, 301-349
PICKHARDT,W., und ROBOCK,K., 1965: Weiterentwicklung einer Apparatur zu photoelektrischen Messung der Reflexion und der Absorption.- Brennstoff-Chemie, 46, 3-7.
PILLER,H.,1967: Influence of light reflection at the objective in the quantitative measurement of reflectivity with microscope.- Mineralogical Magazine, 36, No.278, 242-259. London
PILLER,H., and GEHLEN,K.v.,1964: On errors of reflectivity measurements and of calculations of refractive index n and absorption coefficient K.- Amer.Miner., 49, 867-882.
RAMDOHR,P.,1960: Die Erzmineralien und ihre Verwachsungen. 3.Auflage 1089 S., (Akademie-Verlag), Berlin.
RAMDOHR,P.1960: Bisherige Schleif- und Poliermethoden.- S.190-202 In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd.I, Teil 2, 699S., herausgegeben von FREUND,H. (Umschau-Verlag) Frankfurt/Main
REHWALD,G.,1952: Eine neue Schleif- und Poliermaschine für die Anfertigung von Erz- und Metallanschliffe.- Fortschr.d.Min.,31, 17-19
REHWALD,G.,1960: Die Schleif- und Poliermethode nach Vanderwilt und ihre Anwendung.- S.203-228. In:Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd.I, Teil 2, 699 S.
SCHLOSSMACHER,K.,1924: Die Wege zum Quantitativen in der Erzmikroskopie.- Fortschr.d.Min., 9,161-184

SCHNEIDERHÖHN,H.,1922: Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung von Erzen und Aufbereitungsprodukten besonders im auffallenden Licht.- 192 S.,(Selbstv.d.Ges.Deut.Metall. und Bergl.e.V.) Berlin.

SCHNEIDERHÖHN,H.,1928: Ein neues Photometerokular zur Messung des Reflexionsvermögens in Erzanschliffen.- Centralbl. Min. A,394-396

SCHNEIDERHÖHN,H.,1952: Erzmikroskopisches Praktikum.- E.Schweizerbart sche Verlagsbuchhandlung. 274 S. Stuttgart

SCHNEIDERHÖHN,H.,und RAMDOHR,P.,1931: Lehrbuch der Erzmikroskopie.- 2, 714 S.,Borntraeger. Berlin

SHORT,M.N.,1931: Microscopic determination of ore minerals.- U.S.Geol.Surv.Bull.825,pp.204

UYTENBOGAART,W.,1951: Tables for microscopic identification of ore minerals.- Princeton University Press,Princeton,New Jersey. 242pp.

UYTENBOGAART,W.,and BOWIE,S.H.U.,1965: Proposed tables of quantitative data for ore microscopy.- (Appendix). Econ.Geol. 60,1328-1329, 1330-1331: Identification of Opaque Minerals (Discussion)

Lebenslauf

Am 16. Juli 1940 wurde ich, Roberto Araya Araya, als Sohn des Rechtsanwaltsehepaares Carlos Araya Feuereisen und Laura Araya de Araya, geb. Araya Gómez, in Santiago de Chile, als zweites von sieben Kindern geboren.

Nach fünf Jahren Volksschule in Santiago besuchte ich vom März 1952 bis Dezember 1957 die Oberschule, die ich mit dem Abitur abschloß.

Nachdem ich 2 Jahre an der "Universidad Católica de Chile" Ingenieurwissenschaft studiert hatte, begann ich mit dem Studium der Geologie an der "Universidad de Chile". Im Juni 1965 bestand ich die Diplomprüfung in Geologie.

Seit April 1965 bin ich als Diplom-Geologe an dem Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile tätig. Ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes ermöglichte mir eine Dissertation am Institut für allgemeine und angewandte Geologie der Universität München zu schreiben.

Meine akademischen Lehrer in der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität München waren:

G.Angenheister, R.Dehm, G.Fischer, A.Maucher